

ONGERUBRICEERD

TNO-rapport

96-CMC-R1445 SCHOKREDUCTIE D.M.V. ZWEVENDE VLOEREN; INVLOED DEMPING EN
SAMENVALLENDE EIGENFREQUENTIES.

TNO Bouw

Centrum voor Mechanische Constructies

Lange Kleiweg 5, Rijswijk
Postbus 49
2600 AA Delft

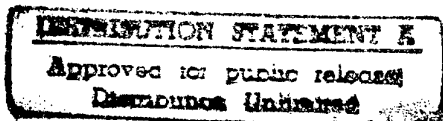
Datum

16 December 1996

Telefoon 015 284 20 00
Fax 015 284 39 90
Telex 38270

Auteur(s)

ir. J. van den Eikhoff
ir. R. Regoord



Sponsor: Ministerie van Defensie
Directie Materieel Koninklijke
Marine
Afdeling Scheepsbouw
Postbus 20702
2500 ES 's-Gravenhage

19970303 046

Toeziethouder: TNO Defensieonderzoek

Rubriceringen:

Vastgesteld door : ir. J.A.A. Vaders
Vastgesteld d.d. : 16 December 1996

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Titel : ONGERUBRICEERD
Managementuittreksel : ONGERUBRICEERD
Tekst : ONGERUBRICEERD
Bijlagen : ONGERUBRICEERD

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Projectnr. : 62376438 - A95/KM/131
Auteur : ir J. van den Eikhoff
ir. R. Regoord
Goedgekeurd : ir. G.T.M. Janssen
Pagina's : 63 (excl. RDP & distr.lijst)

© TNO

ONGERUBRICEERD

DTIC QUALITY INSPECTED 1

TNO Bouw verricht onderzoek en geeft advies over
bouwvraagstukken, voornamelijk in opdracht van onder meer
de overheid, grote en kleine ondernemingen in de bouw,
toeleveringsbedrijven en branche-instellingen.



Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO,
zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Managementuittreksel.

Titel : Schokreductie d.m.v. Zwevende Vloeren; Invloed damping en
samenvallende eigenfrequenties.
Auteurs : J. van den Eikhoff, R. Regoord
Datum : 16 December 1996
Opdr. nr : 62376438 - A95/KM/131
IWP nr. : 792
Rapportnr. : 96-CMC-R1445

Aan schokreductiemaatregelen, met name het verend opstellen van apparatuur wordt vanzelfsprekend, al sinds lange tijd veel aandacht en onderzoek besteed.

Met name de laatste jaren is het belang van schokreductie nog verder toegenomen, onder invloed van krimpende defensiebudgetten en de daarmee gepaard gaande wens en verwachting om bij nieuwbouw tot kostenbesparing te geraken door ondermeer specifieke schokeisen aan apparatuur naar toeleveranciers waar mogelijk te laten vervallen.

Onder deze omstandigheden is het van belang dat verende opstellingen een zo groot mogelijke schokreductie bieden zodat het stellen van schokeisen aan apparatuur dan inderdaad zonder al te groot risico achterwege kan blijven. Omdat, meer nog dan vroeger, zeer grote slap verend opgestelde vloeren zullen worden gaan toegepast, verdienen deze extra aandacht.

Eerder uitgevoerde schokresponsieberekeningen, [1], [2], [3], hadden betrekking op representatieve dek - vloer combinaties zoals mogelijk aanwezig in de commandocentrale van het LCF.

Bij de laatste van deze berekeningen [3] was sprake van een vloer opgebouwd uit door de KSG voorgestelde stalen UNP 80*50*5 profielen en opgesteld op kabelgewonden veren van Sebert. Van die dek-vloer combinatie werden vervolgens eigentrillingsvormen en frequenties bepaald, maar ook van het dek en de vloer afzonderlijk en tevens voor enkele gemodificeerde constructies [4].

Daarmee werd het inzicht in de interactie tussen dek en vloer verder vergroot.

Uit die vorige berekeningen [3], [4] kwam onder meer naar voren dat de doorgeleide versnelling naar de vloer al oscillerend aanzienlijk toenam en groter werd dan verwacht.

Daarom werd nu door middel van een nieuwe schokresponsieberekening verder aandacht geschonken aan het effect van het vrijwel samenvallen van de eigenfrequenties van dek- en vloertrilvormen.

Tot dusverre was in de rekenmodellen alleen de damping verdisconteerd van de kabelgewonden veren. De onbekende damping in de constructie was niet meegenomen. In een tweede nieuwe responsieberekening is nu damping in het dek ingebouwd.

SAMENVATTING

Aan schokreductiemaatregelen, met name het verend opstellen van apparatuur wordt vanzelfsprekend, al sinds lange tijd veel aandacht en onderzoek besteed.

Met name de laatste jaren is het belang van schokreductie nog verder toegenomen, onder invloed van krimpende defensiebudgetten en de daarmee gepaard gaande wens en verwachting om bij nieuwbouw tot kostenbesparing te geraken door ondermeer specifieke schokeisen aan apparatuur naar toeleveranciers waar mogelijk te laten vervallen.

Onder deze omstandigheden is het van belang dat verende opstellingen een zo groot mogelijke schokreductie bieden zodat het stellen van schokeisen aan apparatuur dan inderdaad zonder al te groot risico achterwege kan blijven. Omdat, meer nog dan vroeger, zeer grote slap verend opgestelde vloeren zullen worden gaan toegepast, verdienen deze extra aandacht.

Eerder uitgevoerde schokresponsieberekeningen, [1], [2], [3], hadden betrekking op representatieve dek - vloer combinaties zoals mogelijk aanwezig in de commandocentrale van het LCF.

Bij de laatste van deze berekeningen [3] was sprake van een vloer opgebouwd uit door de KSG voorgestelde stalen UNP 80*50*5 profielen en opgesteld op kabelgewonden veren van Sebert. Van die dek-vloer combinatie werden vervolgens eigentrillingsvormen en frequenties bepaald, maar ook van het dek en de vloer afzonderlijk en tevens voor enkele gemodificeerde constructies [4].

Daarmee werd het inzicht in de interactie tussen dek en vloer verder vergroot.

Uit die vorige berekeningen [3], [4] kwam onder meer naar voren dat de doorgeleide versnelling naar de vloer al oscillerend aanzienlijk toenam en groter werd dan verwacht.

Daarom werd nu door middel van een nieuwe schokresponsieberekening verder aandacht geschonken aan het effect van het vrijwel samenvallen van de eigenfrequenties van dek- en vloertrilvormen.

Tot dusverre was in de rekenmodellen alleen de demping verdisconteerd van de kabelgewonden veren. De onbekende demping in de constructie was niet meegenomen. In een tweede nieuwe responsieberekening is nu demping in het dek ingebouwd.

INHOUDSOPGAVE

Managementuittreksel	2
SAMENVATTING	3
INHOUDSOPGAVE	4
1. INLEIDING	5
2. UITGEVOERDE ANALYSES	7
2.14 Som 14	7
2.14.1 Locatie	7
2.14.2 Dek	7
2.14.3 Aanstoting	8
2.14.4 Vloer	9
2.14.5 Veren	10
2.14.6 Berekeningen	12
2.14.7 Rekenresultaten	12
2.14.7.1 Schokbeweging van het dek	12
2.14.7.2 Schokbeweging van de vloer	13
2.14.7.3 Gedrag van de veren	14
2.14.7.4 Buigspanningen in het dek en in de vloer	14
2.15 Som 15	16
2.15.1 Gegevens	16
2.15.2 Berekeningen	16
2.15.3 Rekenresultaten	16
2.15.3.1 Schokbeweging van het dek	16
2.15.3.2 Schokbeweging van de vloer	17
2.15.3.3 Gedrag van de veren	17
3. CONCLUSIES	18
LITERATUUR	19
APPENDIX A Figuren	20
APPENDIX B Demping van het dek	60

1. INLEIDING

In 1995 werd een meerjarenproject "Schokreductiemaatregelen" opgestart. In het kader van dat project, dat niet exclusief gericht is op het LCF, wordt onder meer aandacht besteed aan de schokresponsie van grote zwevende vloeren. Om daarbij aan te sluiten bij reële afmetingen en constructies werd op verzoek van de Afdeling Scheepsbouw gerekend aan een representatieve dwarsscheepse doorsnede van een dek en de daarop slap verend opgestelde vloer t.p.v. de commandocentrale van het LCF. In het kader van dat project zijn daarover tot nu toe drie interim rapporten verschenen: [1], [2] en [4], terwijl in het kader van een ander project, dat wel direct betrekking heeft op het LCF, nog een vierde rapport verschenen is [3].

In het kader van dat meerjarenproject "Schokreductiemaatregelen" zal blijkens het overeengekomen projectplan [5] onder meer nog de invloed van whipping onderzocht worden.

Kort samengevat is in de vier eerder uitgebrachte rapporten sprake van het volgende:

Het betreft steeds een 2D dwarsscheeps rekenmodel met een dekbreedte van 16.8 m en een vloerbreedte van 13.2 m.

De mate van detaillering in het eindige elementen model is gering, met in totaal slechts een 52-tal balkelementen en een 21-tal veerelementen.

Het eerst verschenen rapport [1] betreft de schokresponsie van een dek-vloer combinatie bij toepassing van kabelgewonden veren van het type Polycal Y1642-2 van Socitec, waarbij de vloer is opgebouwd uit aluminium pallet delen. Qua aanstoting is in de eerste plaats de gestandaardiseerde schokbeweging pulsform C(F) toegepast (bij som 3) en vervolgens de kickoff puls (bij som 4). Geconcludeerd werd dat deze laatste het meest realistisch is.

Het tweede rapport [2] betreft de zelfde dek-vloer combinatie, maar nu met toepassing van rubber veren van het type N2C kl.4 van Loggers.

Deze veren worden ook wel toegepast onder dit soort vloeren in Duitse fregatten. Deze laatste berekeningen (som 6) lieten grotere doorgeleide versnellingen naar de vloer zien (200 m/s² vergeleken met 60 m/s² bij de kabelgewonden veren) en ook grotere buigspanningen in de vloerbalk.

Het derde rapport [3] heeft betrekking op een geheel andere vloer. Onlangs heeft de KSG namenlijk een tekening uitgebracht, getiteld "Voorstel Schokvloeren", gedateerd 31-5-96, betrekking hebbend op de computerruimte Sewaco achter. Dat betekent vervanging van de aluminium vloer met aan elkaar geboute pallets door een enkel gelast stalen frame, opgebouwd uit koudgewalste UNP 80*50*5 profielen. Deze zelfde profielen zijn nu aanwezig verondersteld in de vloer t.p.v. de commandocentrale. De vloer is wederom opgesteld op kabel gewonden veren, nu van het type K19 100-02 van Sebert. Aanstoting wederom met de kickoff puls.

De uitgevoerde schokresponsieberekening wordt in [3] aangeduid met som 7. Daarbij ligt een vergelijking voor de hand met de resultaten van som 4 omdat bij beide berekeningen sprake is van aanstoting met de kickoff puls en ook van, qua veer karakteristiek, gelijkwaardige schokveren.

Opvallend is dan dat de slappere stalen vloer bij het meest linkse kabinet 1 een flinke opslingering vertoont waarbij de versnelling lokaal aangroeit tot een waarde van 100 m/s², hetgeen hoog is in vergelijking met de 60 m/s² bij som 4. Verondersteld werd ([3], blz 13) dat er "blijkbaar sprake is van een eigentrillingsvorm van de vloer die dicht ligt bij de excitatie frequentie van 33 Hz van het dekvel.

Dit werd later bevestigd bij de berekening van de trilvormen (som 8). Er blijkt een trilvorm met een frequentie van 32.7 Hz te bestaan (zie [4], fig 12) waarbij vrijwel alleen het dek en met name daarvan de zijvelden trillen. Vlak daarbij in de buurt ligt een trilvorm ([4], fig 11) met een eigenfrequentie van 31.7 Hz, waarbij met name de vloer trilt en het dek vrijwel stilstaat. Die trilvorm heeft zijn grootste amplituden bij het linker kabinet 1.

Een duidelijk voorbeeld van zo'n lokale opslingering van de vloer betreft b.v. knooppunt 5 waarvoor de versnelling weergegeven werd gedurende 500 ms

(som 7, [3], fig A.7.6). Deze figuur wekt de indruk dat bij ongeveer 500 ms de maximale amplitude wel ongeveer bereikt is. Dat zou wijzen op een zweving met een frequentie van ongeveer 1 Hz. Dat is inderdaad het verschil in eigenfrequentie van de twee genoemde trilvormen. Bij de zelfde som slingert b.v. knooppunt 27 (midden onder kabinet 2) in het geheel niet op ([3], fig A.7.9). Dat is niet verwonderlijk omdat een van de twee trilvormen daar juist een knoop vertoont ([4], fig 11). Die trilvorm, met de frequentie van 31.7 Hz, doet vermoeden dat de vloer ook onder het rechter kabinet 3 een aanzienlijke aangroei van de amplitude te zien zal geven waarbij de knooppunten 37 en 49 dan in tegenfase moeten bewegen. Dat is inderdaad het geval blijkens de in het voorliggende rapport opgenomen fig. A.14.26.

Het effect van het vrijwel samenvallen van eigenfrequenties van "het dek" en van "de vloer" (gesimplificeerd omschreven) kan dus stellig belangrijk zijn voor de doorgeleide schok naar de vloer.

Uit som 8 bleek verder dat er nog een dergelijk tweetal trilvormen aanwezig is, met iets verder uit elkaar liggende eigenfrequenties. In de eerste plaats een dektrilvorm met een frequentie van 14.9 Hz (zie [4] fig. 7) en daarnaast een trilvorm van de vloer met een frequentie van 16.5 Hz (fig. 8).

De vraag rees of de versnellingsniveaux op de vloer hoger zouden zijn geweest als deze twee trilvormen qua eigenfrequentie nog wat dichterbij elkaar hadden gelegen. Besloten werd om de stijfheid van het middelste dekveld zodanig te verhogen dat de betreffende eigenfrequentie zou stijgen van 14.9 Hz naar 16.0 Hz. Hoe dat gebeurd is en in welke trilvormen dat geresulteerd heeft staat verder beschreven in [4] onder som 11.

Het eerste gedeelte van het nu voorliggende rapport betreft de schokresponsie van deze nieuwe dek vloer combinatie (som 14). Directe vergelijking met de responsieresultaten van som 7 ligt voor de hand omdat het enige verschil in het rekenmodel de verhoogde stijfheid van het middelste dekveld betreft.

Het tweede gedeelte van dit rapport betreft de vraag in hoeverre invoering van demping in het model het responsiebeeld gunstig beïnvloedt. Met als uitgangspunt de dek-vloer combinatie van som 7 is nu demping toegevoegd aan het dek en is de responsie opnieuw bepaald (som 15).

* * *

Van de zijde van de K.M., Afdeling Scheepsbouw, Bureau SO&O werd het onderzoek begeleid door ir. J.A.A. Vaders.

* * *

Aan weerszijden van hart schip is het F-dek ondersteund door twee langsscheepse schotten (onderlinge afstand 7.2 m). In het model is de dekbalk op die plaatsen opgelegd verondersteld. De uiteinden van de balk worden stijf verbonden geacht met de op zich flexibele scheepswand, die in het model doorloopt tot het G-dek (3 m lager). Hiermee wordt als het ware aan de uiteinden van de balk een rotatiestijfheid toegevoegd.

Stijfheidsgegevens:

Staal, $E = 210 \text{ GN/m}^2$ en $\nu = 0.3$

Plaatdikte dek 7 mm.

Dwarsverstijver (webspan): $225 \times 7 + 100 \times 10 \text{ mm}$

De voor het traagheidsmoment meewerkende plaatbreedte bedraagt volgens Lloyds Register 1.038 m voor de twee korte velden en 1.360 m voor het centrale middelste veld.

De traagheidsmomenten worden daarmee resp. $6.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$ en $6.8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$.

De weerstandsmomenten zijn resp. $3.29 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ en $3.33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$.

Het afschuifoppervlak bedraagt $1.575 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.

Het traagheidsmoment van de twee 3 m lange balkelementen, die de scheepswanden tot het G-dek vertegenwoordigen is geschat op $6.0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$.

Traagheidsgegevens:

Aannemende dat de plaatbreedte 1.8 m is vinden we een doorsnede oppervlak van $15.175 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Met een dichtheid van 7800 kg/m^3 wordt de massa van het balkprofiel 118.3 kg per strekkende meter. Deze massa is verder nog met 20% vermeerderd i.v.m. gewicht kabelbanen, deel van het gewicht van de veren, enz. De massa van de langsscheepse spanten (om de 0.6 m) is niet in de berekeningen betrokken, omdat ook de bijdrage aan de stijfheid bij dit 2-dimensionale model niet in rekening gebracht is.

Een en ander resulteert, bij knooppunten om de 0.6 m, in puntmassa's van 85.2 kg. Er ontstaat een diagonaalmatrix van massatermen die alleen gekoppeld zijn aan translaties in verticale richting.

Tot zover is de beschrijving identiek aan die van de in **som 7** doorgerekende combinatie. Zoals in de inleiding al uiteengezet is nu t.b.v **som 14** de stijfheid van het middelste dekveld nog verder verhoogd en wel in de zelfde mate als bij **som 11** [4]. Dus is het traagheidsmoment van het middelste veld verhoogd van $6.8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$ tot $9.0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$ en het afschuifoppervlak van $1.575 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ tot $2.0846 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Het Weerstandsmoment tegen buiging is evenredig mee verhoogd van $3.33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ tot $4.41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$.

2.14.3 AANSTOTING.

De dekbalk ondergaat op 4 plaatsen identieke voorgeschreven bewegingen in verticale richting: ter plaatse van de twee scheepswanden en ter plaatse van de schotten.

De aanstoting is met de kickoff puls zoals die bepaald werd met het programma SWISS [6] en zoals die, met precies de zelfde numerieke waarden eerder werd voorgeschreven bij **som 7** (zie [3] hoofdstuk 2.7.3 voor een omschrijving).

2.14.4 VLOER.

Vergeleken met **som 7** [3] is de vloer en de modellering daarvan precies het zelfde gebleven. De beschrijving ervan is hier nog een keer opgenomen.

Modellering algemeen:

De vloer met een lengte van 13.2 m is gemodelleerd als een continue balk met BECOC elementen. Daarin zijn ook weer de stijfheids- en massagegevens verwerkt van een strook met een breedte van 1.8 m.

Deze gegevens hebben betrekking op de combinatie van de vloer en de daarop geplaatste kabinetten.

De vloer ligt symmetrisch t.o.v. hart schip.

Stijfheidsgegevens:

Staal, $E = 210 \text{ GN/m}^2$ en $\nu = 0.3$

Uit fig. 14.1 blijkt dat, binnen het model, sprake is van vier afzonderlijke doorgaande profielen.

Dit zijn koudgewalste UNP 80*50*5 profielen, conform de door de KMS ter info afgegeven tekening "voorstel schokvloeren" d.d. 31 Mei 1996. Deze tekening betreft de "computerruimte Sewaco achter" Op verzoek van de Afdeling Scheepsbouw DMKM is aangenomen dat deze profielen ook voor de

vloer in de commandocentrale in aanmerking komen.

Van de twee buitenste profielen in fig 14.1 mag slechts de helft van de buigstijfheid toegekend worden aan het balkmodel.

In feite betreft het dus 3 parallel geplaatste profielen met een gezamenlijk traagheidsmoment van $229.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$ en een afschuifoppervlak van $1.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.

Vergeleken met de aluminium palletvloer in de **sommen 3, 4 en 6** is de buigstijfheid EI met ongeveer een factor 7 afgenomen.

Deze stijfheidsgegevens zijn niet van toepassing over de gehele lengte van de vloer, omdat er lokaal sprake is van een aanzienlijk grotere stijfheid veroorzaakt door lokaal aanwezige kabinetten die vast gemonteerd zijn op de vloer. Uit fig. 14.2 blijkt dat er sprake is van 3 kabinetten, elk met een lengte van 3.6 m (6 velden) en een breedte van 1.8 m (3 velden). Die kabinetten zijn symmetrisch geplaatst t.o.v hart schip met tussenruimten van 1.2 m (2 velden).

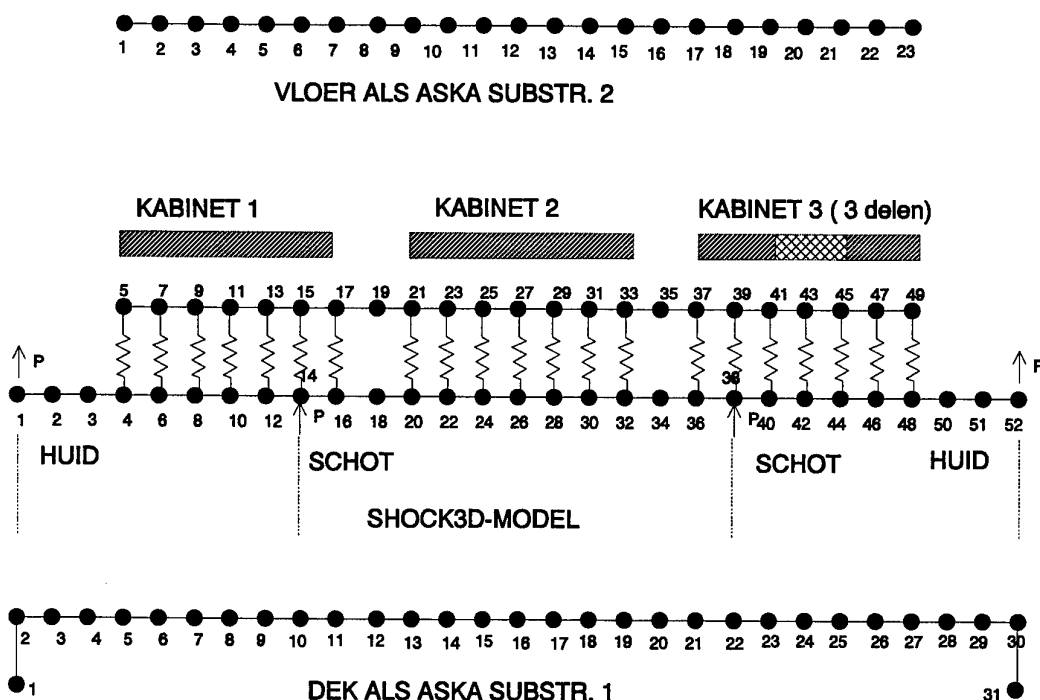


fig. 14.2 Model met knooppuntsnummers in SHOCK3D en ASKA.

De kabinetten 1 en 2 bevatten elk doorgaande profielen in langsrichting. Over de kabinetten zelf is qua constructiegegevens nog niet voldoende bekend om die additionele stijfheid met enige zekerheid in rekening te kunnen brengen. Aangenomen is dat aan de uiteinden van het kabinet (het eerste en het zesde veld) geen sprake is van een bijdrage aan de stijfheid maar dat over de vier middelste velden het traagheidsmoment en het afschuifoppervlak een factor 10 hoger zijn.

Het derde kabinet bestaat in feite in langsrichting uit 3 afzonderlijke delen, elk met een lengte van 1.2 m (2 velden). Aangenomen is dan ook dat dit derde kabinet geen enkele bijdrage aan de stijfheid van de vloer levert.

Dit derde kabinet brengt dus asymmetrie in het model, niet alleen vanwege de stijfheid van de vloer, maar ook vanwege de verdeling van de veren, zoals verderop blijken zal.

De UNP profielen vormen een volkomen regelmatig gelast frame met velden van $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$.

Traagheidsgegevens:

Met een dichtheid van staal van 7800 kg/m^3 is aan de hand van de beschikbare afmetingen geconcludeerd dat drie velden naast elkaar (0.6 m bij 1.8 m) een massa van 24 kg vormen. Dat is vrijwel de zelfde massa zoals die eerder voor de palletvloer [1] [2] in rekening was gebracht. Dat was 25 kg . Die laatste waarde is hier gehandhaafd. Dus is aan elk van de knooppunten in het model (onderlinge afstand 0.6 m) deze massa toegekend, met uitzondering van de knooppunten aan de uiteinden waar 12.5 kg is gedacht.

Verder weegt elk van de drie kabinetten 1020 kg . Die massa is steeds over 7 knooppunten verdeeld, resp. 85.5 kg , 5 maal 170 kg en 85.5 kg . Eventuele verdere massa's zijn niet in rekening gebracht.

2.14.5 VEREN.

Omdat ook aan de verende opstelling niets is veranderd wordt hier voor volledige informatie verwezen naar de beschrijving onder **som 7** ([3], hoofdstuk 2.7.5).

Kort samengevat is hier sprake van een opstelling op kabelgewonden veren van Sebert, type K19 100-02 [7], waarvan de niet lineaire eigenschappen en de damping werden vastgelegd met veertype 1 van het SHOCK3D rekenprogramma [8].

In het onderste deel van fig. 14.3 zijn in een bovenaanzicht de plaatsen van de veren langs de omtrek van de kabinetten aangegeven. Per dwarsdoorsnede is het aantal veren 0, 2, 3 of 4. De eigenschappen van 2, 3 of 4 parallel gemonteerde veren zijn bij de modelvorming gecombineerd tot enkele veren met de nummers 1, resp. 2, resp. 3. (ook aangeduid boven in fig. 14.3).

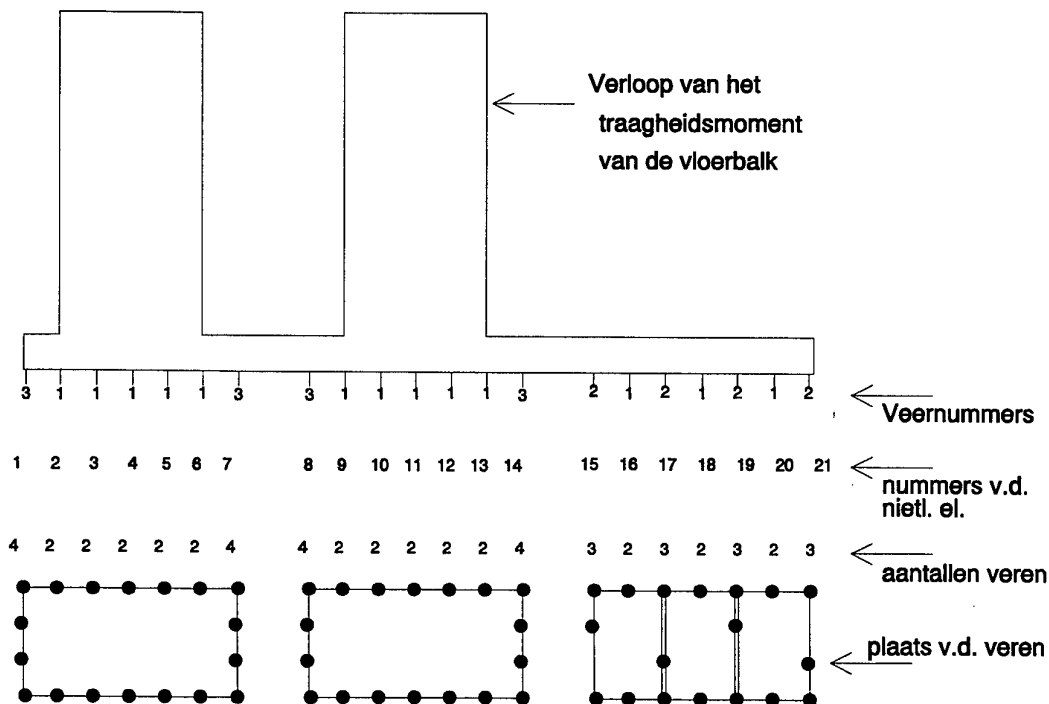


fig. 14.3 De vloerbalk en de daaraan verbonden veren.

Dus op 21 plaatsen langs de vloerbalk zijn in het model niet-lineaire elementen aangebracht.

Als we de vergaande simplificatie doorvoeren dat onder "de" opstellingsfrequentie wordt verstaan de frequentie waarmee de totale massa van de vloer en de daarop opgestelde kabinetten beweegt op, in dit geval 54 parallel geplaatste veren, dan komt de opstellingsfrequentie uit op 4.1 Hz. De gemiddelde statische veerbelasting van een enkele veer is hier 67 kg, hetgeen binnen het opgegeven [9] gebied ligt van 52 - 104 kg.

2.14.6 BEREKENINGEN.

Achtereenvolgens werden de volgende berekeningen uitgevoerd:

- (1) Berekening van de stijfheidsmatrices van het dek en van de vloer als aparte substructures in ASKA. Statistische condensatie van het aantal vrijheidsgraden waardoor alleen de verticale translaties overgebleven zijn.
- (2) Responsieberekening van het totale systeem in SHOCK3D [8] over 500 ms met 5000 tijdstappen van 0.1 ms.
Uitvoer van de responsie om de 10 ms.
Uitvoer naar files elke ms voor het plotten (m.b.v. TECPLOT) van responsie resultaten, voor het berekenen van de snedekrachten en de rotaties in de hierop volgende ASKA berekeningen en voor het berekenen van schokspectra.
- (3) ASKA berekeningen voor 500 belastingsgevallen (tijden).
Uitvoer van de extreme waarden van de snedekrachten in alle knooppunten met de bijbehorende tijdstippen.
Uitvoer van alle snedekrachten, translaties, rotaties en reaktiekrachten t.p.v. de voorgeschreven vrijheidsgraden op een aantal geselecteerde tijdstippen waarop sprake is van maximale responsies. M.b.v. IDEAS zijn voor deze tijdstippen een aantal verplaatsingsplots getekend.
- (4) Berekening van initiele schokspectra m.b.v. MATLAB, op een wijze identiek aan die bij **som 7** (zie figuren A.14.27 - A.14.35).

2.14.7 REKENRESULTATEN.

Bij de bespreking van de rekenresultaten zal veelvuldig verwezen worden naar de knooppuntsnummers (n.p. of node) zoals die in ASKA dan wel in SHOCK3D toegekend werden. Zie daartoe fig. 14.2.
De nummers van de niet-lineaire elementen (1 t/m 21) vindt men terug in fig. 14.3.
Alle figuren die betrekking hebben op de responsie zijn in Appendix A opgenomen.

2.14.7.1 Schokbeweging van het dek.

De absolute verplaatsingen van SHOCK3D n.p. 1 (scheepswand) en van n.p. 6 en 26 (midden van de velden) zijn afgebeeld in de figuren A.14.1 en A.14.2 en de versnellingen van deze zelfde punten in de figuren A.14.3 en A.14.4. Deze 4 figuren betreffen de responsie over 500 ms.
De snelheden van deze zelfde punten 1, 6 en 26 zijn bovendien voor de eerste 100 ms weergegeven in fig A.14.5.

Commentaar:

Ten opzichte van **som 7** is het middendek stijver maar de aanstoting van het dek is niet veranderd en ook is "de" opstellingsfrequentie van de vloer niet veranderd.

De schokresponsie van het dek verschilt weinig met die van **som 7** alleen de frequentie van de trilling is zoals verwacht iets toegenomen van circa 33 Hz tot ca 34 Hz voor de zijdekken en van ca 15 Hz tot 16 Hz in het middendek. Dat blijkt als men bovengenoemde figuren vergelijkt met de figuren A.7.1 t/m A.7.5 [3].

Die zelfde iets hogere frequenties vindt men ook terug in **som 11** [4], waar

16.0 Hz en 33.8 Hz gevonden werd.

Het hier volgende commentaar bij de dekresponsie is dan ook vrijwel hetzelfde als bij **som 7**.

Bij het dekveld tussen de scheepshuid en het langsschot domineert een trilvorm met een eigenfrequentie van 34 Hz. De maximale doorbuiging van dit stuk dek (n.p. 6) is ongeveer 14 mm.

Het dek tussen de twee langsschotten in (n.p. 26) buigt ongeveer 19 mm door. Dit is minder dan in **som 7** (was 23 mm) door de grotere stijfheid van het middendek. Van de hier aanwezige trilvormen is, kijkend naar de verplaatsingen, vooral die met een frequentie van 16 Hz belangrijk.

De maximum waarden van de versnellingen op het dek (fig A.14.3 en fig. A.14.4) liggen vrijwel steeds (aanzienlijk) beneden de 1000 m/s^2 .

Blijkbaar worden ook hogere trilvormen in het dek aangestoten, hetgeen ook verwacht mag worden gezien de kleine stijgtijd tot de maximum snelheid van de voorgescreven puls.

Uit de tijdsignalen, met name de versnellingen blijkt dat het systeem licht gedempt is. De amplituden nemen langzaam af. Damping is alleen in het model ingevoerd in de kabelgewonden veren. Door allerlei andere oorzaken zal de damping in werkelijkheid groter zijn en zullen met name de trillingen met hogere frequenties sneller uitgedempt zijn.

2.14.7.2 Schokbeweging van de vloer.

De versnellingen van SHOCK3D n.p. 5, 11, 17, 27, 39, 43 en 47 zijn afgebeeld in de figuren A.14.6 t/m A.14.12. Bovendien zijn van de knooppunten 7, 11 en 15 (onder kabinet 1) de versnellingen weergegeven in fig. A.14.13 en van de knooppunten 21, 27 en 33 (onder kabinet 2) in fig. A.14.14 en van de knooppunten 37, 43 en 49 (onder het gedeelde kabinet 3) in fig. A.14.15. Helaas was in [3] de figuur met versnellingen van de knooppunten 37, 43 en 49 weggevalen. Deze figuur wordt alsnog gegeven in figuur A.14.26.

Verder zijn op een zestal kritieke tijdstippen de vloerverplaatsingen weergegeven. Zie de figuren A.14.16 t/m A.14.21.

Commentaar:

Vergeleken met **som 7** is het middendek stijver geworden.

De vloer laat nu een wat andere schokresponsie zien.

Alvorens daar op in te gaan kan opgemerkt worden dat in alle versnellingssignalen opnieuw de laagfrequentie opstellingsfrequentie van 4.1 Hz herkenbaar is. Die laagfrequentie component is verantwoordelijk voor een versnellingsniveau over de gehele lengte op de vloer van ongeveer 30 m/s^2 . Daarnaast zijn versnellingscomponenten met hogere frequenties aanwezig. Met name t.p.v. de buitenste knooppunten 5 en 17 van kabinet 1 dragen deze versnellingen weer aanzienlijk bij aan het totale versnellingsniveau tot ongeveer 90 resp. 70 m/s^2 . Dit is dus iets lager dan bij **som 7**.

Een frequentie van ongeveer 33 Hz, dicht bij die van 34 Hz geconstateerd in de buitenste dekvelen, blijkt hier in sterke mate opgebouwd te worden.

Als we nu kijken naar de versnellingssignalen van de knooppunten 5, 7, 11, 15 en 17 onder dit kabinet 1 dan is ook nu het signaal van het middelste knooppunt 11 in tegenfase met de signalen van de vier andere knooppunten. Blijkbaar treedt er ook nu lokaal een buigtrilling in de vloer onder kabinet 1 op. Dat blijkt natuurlijk ook uit de berekende trilvormen [4] van de vloer. Er is nog steeds sprake van een eigentrillingsvorm van de vloer ([4], fig 33) die met een eigenfrequentie van 31.7 Hz dicht ligt bij de eigenfrequentie van 33.8 Hz van een dekrilling als excitatiebron. Hierdoor ontstaat nu een zwevingsfrequentie van 2.1 Hz bovenop de gemiddelde frequentie van 33 Hz. Daardoor is de trilling na 0.25 s maximaal en lijkt ze na 0.5 s uitgedempt te zijn. In **som 7** waren deze eigenfrequenties 32.7 resp. 31.7 Hz. Hier ontstond dus een zwevingsfrequentie van 1 Hz, die dus na 0.5 s juist op zijn maximum is.

Dat de knooppunten 5 en 17 veel grotere amplituden te zien geven dan de tussenliggende knooppunten is niet zo verwonderlijk gezien de geringe stijfheid van de vloer tussen de knooppunten 5 en 7 en tussen de knooppunten 15 en 17. Die uiteinden van het kabinet worden gemakkelijk aangestoten omdat het aantal veren daar juist twee keer zo hoog is en de

massa twee keer zo laag is, vergeleken met de tussenliggende punten. Een en ander blijkt uit de vorm van de vloertrilling ([4], figuur 33).

Kabinet 2 is identiek aan kabinet 1, evenals de onderliggende vloerconstructie. Toch is hier de responsie van de uitgekozen knooppunten 21, 27 en 33 met piekversnellingen tot ongeveer 40 m/s^2 veel gunstiger dan bij kabinet 1. Die knooppunten liggen echter toevallig alle drie vrijwel precies in de knopen van die 31.7 Hz trilvorm. De tussenliggende knooppunten 23, 25, 29 en 31 zullen wel een bijdrage te zien geven van die trilvorm. Voor wat betreft de onder kabinet 2 geselecteerde en gepresenteerde signalen is het verschil met **som 7** erg klein.

Het derde kabinet werd opgebouwd gedacht uit 3 afzonderlijke losstaande delen, dus zonder bij te dragen aan de stijfheid van de vloer. In dit rechter deel van de vloer zal de eerder genoemde 31.7 Hz trilvorm van de vloer dus een geheel andere vorm hebben dan onder kabinet 1. Dat blijkt ook wel uit [4], fig.33. De amplituden zijn wat minder groot dan onder het kabinet 1 en dat is ook het beeld wat uit de berekende responsie naar voren komt. Ook hier blijkt (fig A.14.15) een sterke 33 Hz component aanwezig. De maximum versnellingspieken lopen hier op tot bijna 70 m/s^2 . Ook hier valt de zwevingsfrequentie van ongeveer 2 Hz op waardoor de responsie van de vloer na 0.5 s klein is.

De grootste versnelling die op de vloer optreedt bedraagt dus ongeveer 90 m/s^2 , waarvan ongeveer 60 m/s^2 gerelateerd is aan een trilling met een frequentie van ongeveer 33 Hz. Die laatste trilling gaat dan gepaard met een verplaatsingsamplitude van 1.3 mm.

Tenslotte wordt geconcludeerd dat de responsie van de vloer maar in zeer geringe mate blijkt geeft aangestoten te worden in de 16.5 Hz trilvorm (zie [4], fig. 30) of in de daar vlakbij gelegen trilvorm met een frequentie van 16.0 Hz (zie [4], fig. 29). Dat is ook niet zo verwonderlijk omdat bij beide trilvormen het middelste dekvelde in tegenfase met de twee zijvelden beweegt. Dit in tegenstelling tot het eerder genoemde en dominante paar trilvormen (31.7 en 33.8 Hz) waarbij alle drie de dekvelde in fase bewegen. Een zweving in de responsie tussen de 16.0 Hz en de 16.5 Hz trilvormen kon dan ook niet worden signaleerd.

2.14.7.3 Gedrag van de veren.

Voor de niet-lineaire elementen 2, 4, 6, en 11 (zie fig. 14.3 voor de nummering) zijn de gedurende 500 ms doorlopen veer karakteristieken weergegeven in de figuren A.14.22 t/m A.14.25.

Commentaar:

Elk van de 4 elementen vertegenwoordigt 2 parallel geplaatste K19 100-02 veren.

De elementen 2, 4 en 6 zijn alle onder kabinet 1 geplaatst.

De veren blijken maximaal ongeveer 40 mm ingedrukt en ook uitgerekt te worden. Ter plaatse van de langsschotten zijn deze waarden het kleinst. Voor deze niet bijzonder grote waarden mag worden aangenomen dat de veer karakteristiek qua niet-lineariteit goed in het model verwerkt is. De verschillen met **som 7** blijken klein.

2.14.7.4 Buigspanningen in het dek en in de vloer.

Voor 500 quasi-statische belastingsgevallen is m.b.v. ASKA per knooppunt zowel voor het dek als voor de vloer nagegaan wat de extreme waarden zijn voor de buigende momenten in de balkelementen. Tabel 2.3.1 geeft daarvan een overzicht met de grootste positieve en de grootste negatieve waarden

evenals de tijdstippen waarop die extremen optreden. Omdat bij het dek duidelijk sprake is van symmetrie (de extreme waarden meestal tot op 3 cijfers gelijk zijnde) vermeldt de tabel alleen de waarden voor de linker helft van de constructie. V.w.b. de vloer zijn in de tabel niet die knooppunten opgenomen die verbonden zijn aan de verstijfde balkelementen (samenhangend met de aanwezigheid van kabinetten). Daar is de situatie met dit voorlopige model minder goed interpreteerbaar. Als we de buigende momenten delen door het weerstandsmoment vinden we dat in het dek de grootste buigspanning optreedt na 112 ms in knooppunt 10 (bij het langsschot) met 495 MPa, aanzienlijk hoger dan in **som 7** (402 MPa). De op een na grootste spanning treedt op in knooppunt 6 (hart linker dek) na 140 ms en bedraagt 326 Mpa. De spanningen in het middendek zijn door het hogere buigweerstandsmoment aanzienlijk gedaald (maximaal 263 MPa). De vloeigrens van het toegepaste staal ligt met ongeveer 350 MPa behoorlijk lager dan de hoogst gevonden waarde en een elastische berekening, zoals hier uitgevoerd, wordt dan ook discutabel. In de UNP profielen van de vloer treedt een grootste buigspanning op van 87 MPa in knooppunt 14 na 289 ms. Ongeveer 10% minder grote spanningen treden op in de knooppunten 2 en 10. Vergeleken met de vloeigrens is het spanningsniveau in de vloer laag en vergeleken met **som 7** ca 25% lager. Ook bij deze berekening treden de grootste spanningen in de vloerbalk weer op die plaatsen op waar sprake is van een overgang in buigstijfheid.

Knooppunt- nummers in ASKA	Extreme waarden				Weerstands moment $W_b \times 10^{-4}$ [m³]
	Positief		Negatief		
	$M_b \times 10^5$ [Nm]	t [ms]	$M_b \times 10^5$ [Nm]	t [ms]	
<u>dek</u>					
2	0.74	38	0.83	23	3.29
3	0.29	42	0.29	74	"
4	0.79	23	0.71	38	"
5	0.94	21	0.82	37	"
6	1.04	140	0.97	41	"
7	0.91	85	0.72	41	"
8	0.60	18	0.47	44	"
9	0.66	12	0.70	115	"
10	1.43	69	1.63	112	"
11	0.97	9	0.91	52	4.41
12	0.64	9	0.63	203	"
13	0.53	47	0.53	14	"
14	0.70	114	0.55	9	"
15	1.00	109	0.86	9	"
16	1.16	108	1.01	8	"
<u>vloer</u>					
2	0.046	135	0.045	242	0.574
6	0.039	139	0.020	215	"
7	0.025	273	0.021	350	"
8	0.014	241	0.017	320	"
9	0.015	228	0.013	334	"
10	0.033	412	0.038	304	"
14	0.039	210	0.050	289	"
15	0.022	210	0.017	136	"
16	0.020	227	0.016	148	"
17	0.027	227	0.021	149	"
18	0.011	404	0.012	71	"
19	0.034	149	0.031	227	"
20	0.030	148	0.028	227	"
21	0.037	135	0.032	213	"
22	0.028	133	0.026	212	"

Tabel 2.14.1 De extreme buigende momenten (som 14).

2.15 SOM 15.

2.15.1 Gegevens.

Som 15 is wat betreft lokatie, samenstelling dek en vloer, aanstoting, veren tussen dek en vloer gelijk aan **Som 7** en het verschil met de vorige **Som 14** is slechts het feit dat hier weer de oorspronkelijke stijfheid van het middendek is gebruikt. De bedoeling van de huidige som is het onderzoeken van het effect van demping op de opslingering in versnellingen die in **Som 7** was geconstateerd.

Demping in het dek is geïntroduceerd door tussen alle knooppunten van het dek horizontaal liggende veren te plaatsen, zonder stijfheid, maar met alleen een waarde voor de demping in de verticale richting. Deze methode is eerst getest op eenvoudiger opstellingen (één dekvelde en alleen het dek). Zie Appendix B voor een meer uitgebreide beschrijving. In deze som zijn dezelfde veren gebruikt als in deze voorbereidende sommen. De dempingsfactor van de veren van veertype 1 in het SHOCK3D rekenprogramma [8] is $K=6500 \text{ Ns/m}$. Deze dempingsfactor geeft voor de belangrijkste trilvormen een demping van 3 á 4% van de kritische demping.

2.15.2 BEREKENINGEN.

Achtereenvolgens werden de volgende berekeningen uitgevoerd:

- (1) Berekening van de stijfheidsmatrices van het dek en van de vloer als aparte substructures in ASKA. Statische condensatie van het aantal vrijheidsgraden waardoor alleen de verticale translaties overgebleven zijn.
- (2) Responsieberekening van het totale systeem in SHOCK3D [11] over 500 ms met 5000 tijdstappen van 0.1 ms.
Uitvoer van de responsie om de 10 ms.
Uitvoer naar files elke ms voor het plotten (m.b.v. TECPLOT) van responsie resultaten en voor schokspectra.
- (3) Berekening van initiële schokspectra m.b.v. MATLAB, op een wijze identiek aan die bij **Som 7** [4] en **Som 14** (zie figuren A.15.20 - A.15.27).

2.15.3 REKENRESULTATEN.

Bij de bespreking van de rekenresultaten wordt weer veelvuldig verwezen naar de knooppuntsnummers zoals die in ASKA dan wel in SHOCK3D toegekend werden. Zie daartoe fig. 14.2.

De nummers van de niet-lineaire elementen (1 t/m 21) vindt men terug in fig. 14.3.

Alle figuren die betrekking hebben op de responsie zijn in appendix A opgenomen.

2.15.3.1 Schokbeweging van het dek.

De absolute verplaatsingen van SHOCK3D n.p 1 (scheepswand) en van n.p. 6 en 26 (middens van de velden) zijn afgebeeld in de figuren A.15.1 en A.15.2 en de versnellingen van deze zelfde punten in de figuren A.15.3 en A.15.4.

Deze 4 figuren betreffen de responsie over 500 ms.

De snelheden van deze zelfde punten 1, 6 en 26 zijn bovendien voor de eerste 100 ms weergegeven in fig A.15.5.

Commentaar:

Ten opzichte van **som 7** is de invloed van de ingevoerde demping zeer duidelijk in de zijdekken (knooppunt 6). Terwijl in **som 7** een beweging werd gevonden met een voornaamste frequentie van ca 33 Hz en vrijwel constante amplitude zien we nu dat de verplaatsing na 0.5 s al vrijwel constant is. Het middendek blijft langer trillen omdat lagere frequenties minder snel uitdempen. Wel is te zien dat de hogere frequenties sneller verdwijnen in vergelijking met **Som 7**. Dit laatste is zeker goed te zien in de

resultierende versnellingen. De optredende maximale versnelling is minder dan in **Som 7** (ca 900 m/s² in plaats van 1200 m/s²) en treedt nu nog maar één keer op. Het snelheids signaal lijkt veel op dat van **Som 7** maar is door het uitdempen van de hoge frequenties veel rustiger.

Eén en ander blijkt als men bovengenoemde 5 figuren vergelijkt met de figuren A.7.1 t/m A.7.5 [3].

De maximale doorbuiging van de zijdekken van 13 mm is iets kleiner dan in **Som 7** (14 mm). Het middendek trilt weer in dezelfde frequentie van ca 15 Hz met een maximale doorbuiging van 15.6 mm, aanzienlijk minder dan in **Som 7** (23 mm).

2.15.3.2 Schokbeweging van de vloer.

De versnellingen van SHOCK3D n.p. 5, 11, 17, 27, 39, 43 en 47 zijn afgebeeld in de figuren A.15.6 t/m A.15.12. Bovendien zijn van de knooppunten 7, 11 en 15 (onder kabinet 1) de versnellingen weergegeven in fig. A.15.13 en van de knooppunten 21, 27 en 33 (onder kabinet 2) in fig. A.15.14 en van de knooppunten 37, 43 en 49 in fig. A.15.15.

Commentaar:

De invloed van de ingevoerde dekdemping is ook in de beweging van de vloer merkbaar. Zo zien we bij knooppunt 5 waar in **Som 7** de versnelling opslingerde tot ca 100 m/s², dat nu nog slechts ca 65 m/s² wordt bereikt. Aangezien geen demping is aangebracht in de vloer (het is heel goed mogelijk dat deze minder gedempt wordt dan het dek) zien we geen bijzonder sterke afname in de trilling. Maar dat hangt ook samen met het optreden van een zweving die bij de huidige **SOM 15** weer een frequentie van 1 Hz heeft, zodat we na 0.5 sec juist op het maximum zitten. (was 2 Hz bij **SOM 14**). Ook op de andere knooppunten zien we een reductie van de maximale versnellingen.

Wederom zien we in alle versnellingssignalen een laagfrequente opstellingsfrequentie van 4.1 Hz. Onder kabinet 1 overheerst weer de beweging met een frequentie van 33 Hz, die verantwoordelijk is voor een aanzienlijke verhoging van het versnellingsniveau, vooral bij de buitenste knooppunten 5 (65 m/s²) en 17 (55 m/s²) van kabinet 1.

Onder kabinet 2 is de situatie weer gunstiger omdat hier vanuit het dek de lagere frequentie van 15 Hz overheerst. De versnellingen zijn hier vrijwel gelijk aan die van **Som 7**, alleen ontbreken de hoogfrequente piekjes. Ook onder kabinet 3 verschillen de versnellingen niet veel met die van **Som 7**. De extrema zijn vrijwel gelijk en de amplitude van de 33 Hz trilling is iets kleiner.

2.15.3.3 Gedrag van de veren.

Voor de niet-lineaire elementen 2, 4, 6, en 11 (zie fig. 14.3 voor de nummering) zijn de gedurende 500 ms doorlopen veer karakteristieken weergegeven in de figuren A.15.16 t/m A.15.19.

Commentaar:

De verschillen met **Som 7** zijn klein.

3. CONCLUSIES.

- (1) Vergeleken met een eerder doorgerekende dek-vloer combinatie met stalen UNP profielen (**som 7**) t.p.v. de commandocentrale van het LCF [3] is nu met **Som 14** het effect van ongeveer samenvallende eigenfrequenties bekeken en met **Som 15** het effect van een demping van 3 á 4% in het dek.
Verder geldt:
 - De dekconstructie is onveranderd gelaten, uitgezonderd het middenveld dat nu **bij Som 14** stijver is.
 - De aanstoting van het dek met de kickoff puls t.p.v. de huid en de langsschotten is conform **Som 4** en **Som 7**.
 - De vloer bestaat evenals in **Som 7** uit een gelast stalen frame van UNP 80*50*5 profielen.
 - Evenals in **Som 7** zijn staalkabelveren van Sebert K19 100-02 gebruikt tussen dek en vloer.
- (2) De schokresponsie van het dek is in **Som 14** door de hogere stijfheid van het middendek iets anders. Dit uit zich met name in iets andere eigenfrequenties van de twee belangrijkste trilvormen. De trilvorm waarbij zijdekken en middendek in tegenfase bewegen heeft een frequentie van 16 i.p.v. 15 Hz en de trilvorm waarbij alle dekken in fase bewegen heeft een frequentie van 33.8 Hz (was 32.7 Hz).
- (3) De schokresponsie van de vloer is in **Som 14** opvallend verschillend van **Som 7**. Doordat de eigenfrequentie van 33.8 Hz verder bij een eigenfrequentie van 31.7 Hz van de vloer vandaan is gekomen, ontstaat in het versnellingssignaal een zweving met een frequentie van 2 Hz. In **Som 7** was deze verschilfrequentie 1 Hz. In **Som 14** zien we in de versnellingen van de vloer een volle periode terug van deze zweving en in **Som 7** slechts een halve periode gedurende de 500 ms waarover de responsie berekend is. Hierdoor leek het dat bij **Som 7** de versnellingen zouden blijven opslingeren.
- (4) Door de grotere stijfheid van het middendek zijn de spanningen in dit deel van het dek lager dan in **Som 7**. Daar staat echter tegenover dat daardoor de spanningen in de zijdekken juist extra hoog zijn geworden (ca 25 % hoger). De spanningen in de vloer blijken juist ca 25% lager te zijn.
- (5) In **Som 15** is de schokresponsie van het dek ten gevolge van de ingevoerde demping aanzienlijk verschillend van die bij **Som 7**. Zoals te verwachten is worden vooral de dektrilvormen met hogere frequenties snel uitgedempt. Ook de belangrijke trilvorm met de frequentie van 32.7 Hz is na 0.5 s al vrijwel verdwenen.
- (6) De schokresponsie van de vloer verandert ten opzichte van **Som 7** minder sterk. De vloer zelf is in de berekeningen niet gedempt. Toch is de opslingering t.g.v. de zweving aanzienlijk verkleind en zijn de amplituden van de vloertrillingen onder de kabinetten 1 en 3 wel wat afgenomen. Onder kabinet 1 zelfs van 100 tot ongeveer 65 m/s².

LITERATUUR.

- [1] R. Regoord
Schokreductie d.m.v. zwevende vloeren
TNO rapport 95-CMC-R1243 November 1995
- [2] R. Regoord
Schokreductie d.m.v. zwevende vloeren; Veertype N2C kl.4
TNO rapport 96-CMC-R0264 Maart 1996
- [3] R. Regoord
Schokreductie d.m.v. zwevende vloeren; Stalen UNP profielen
TNO rapport 96-CMC-R0288 18 Juli 1996
- [4] J. Oostvogels
Schokreductie d.m.v. zwevende vloeren; trilvormen
TNO rapport 96-CMC-R1442 November 1996
- [5] R. Regoord
Projectplan voor "Schokreductie maatregelen"
TNO memo 95-CMC-M136, 17 juli 1995
- [6] R. Regoord, J. van Vught, B.Q.M. Westgeest
Theoretical and User's Manual for the SWISS code -
Shock Wave Induced Ship Shock. (version 2.0)
TNO report 95-MAR-R0613, August 1994, Company Confidential
- [7] Catalogus van Sebert Schwingungstechnik GmbH
K-Type Shock Mounts For Naval Applications.
- [8] R. Regoord, B.Q.M. Westgeest
Manual for SHOCK3D, version 2.0
Computer program for non-linear shock response.
TNO report 94-CMC-R0539, August 1994

APPENDIX A: Figuren

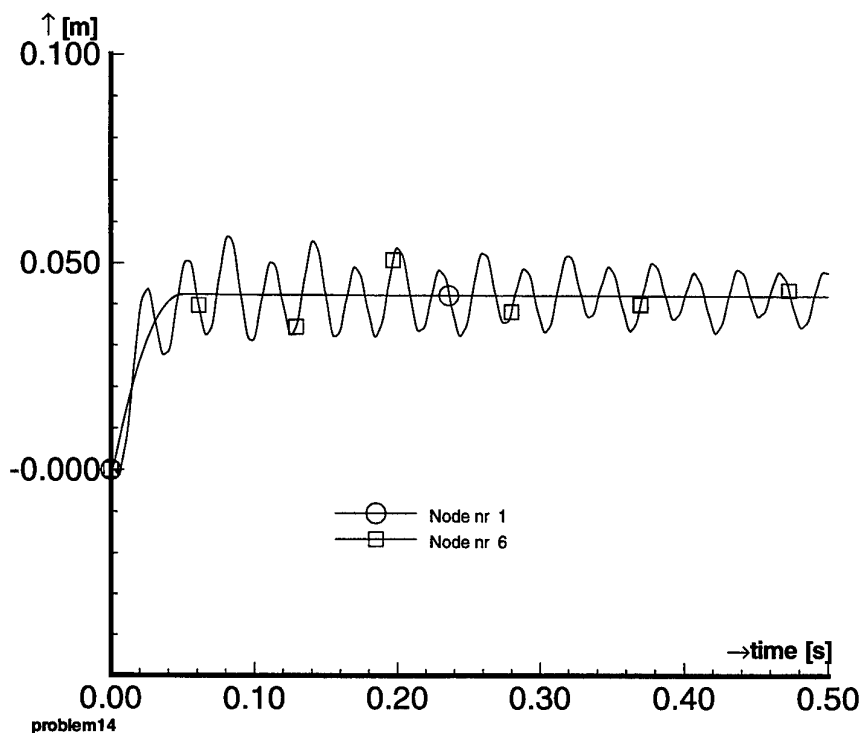


fig. A.14.1 Verplaatsing som 14 dek n.p. 6 en n.p. 1 (voorgeschreven).

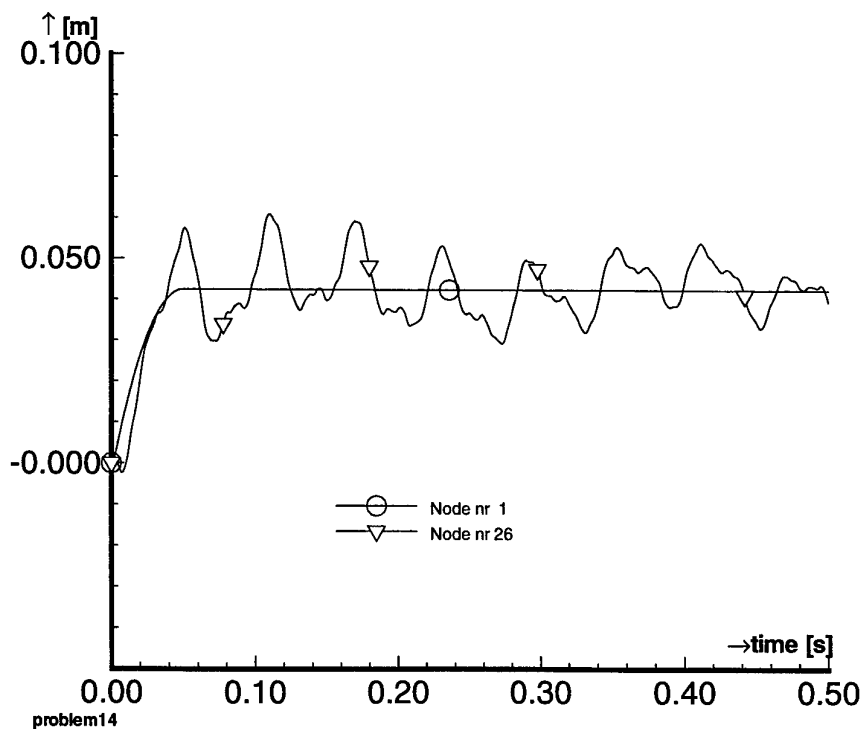


fig. A.14.2 Verplaatsing som 14 dek n.p. 26 en 1 (voorgeschreven).

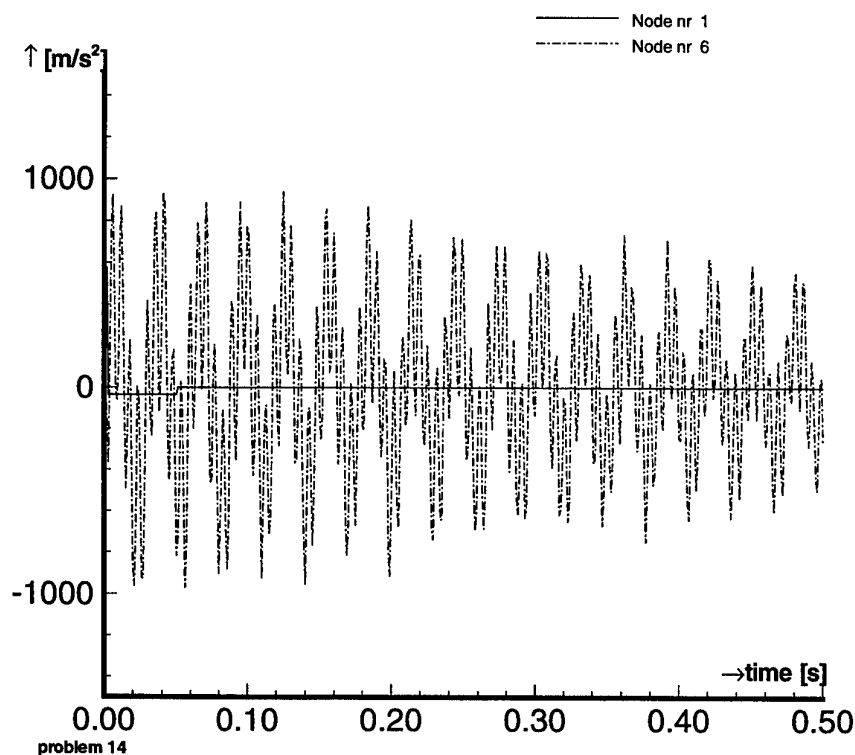


fig. A.14.3 Versnelling som 14 dek n.p. 6 en n.p. 1 (voorgeschreven).

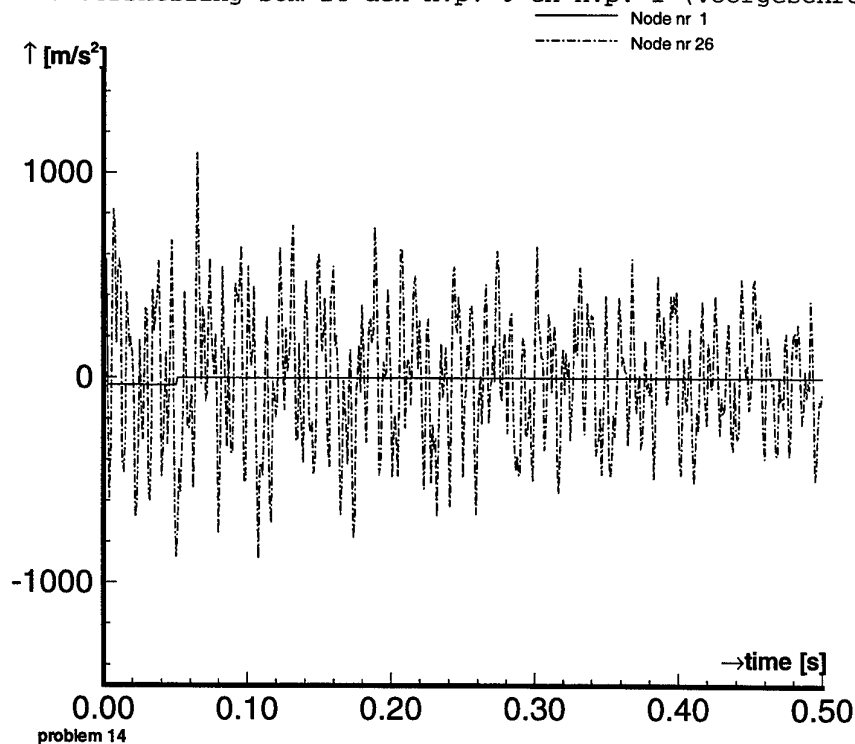


fig. A.14.4 Versnelling som 14 dek n.p. 26 en n.p. 1 (voorgeschreven).

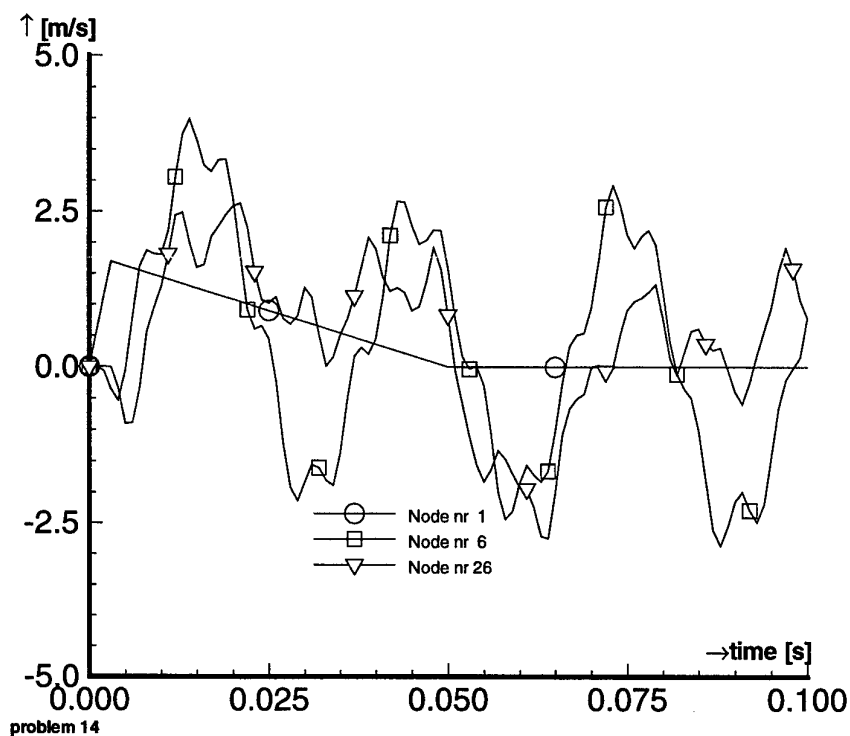


fig. A.14.5 Snelheid som 14 dek n.p. 6, 26 en 1 (voorgeschreven).
Node nr 5

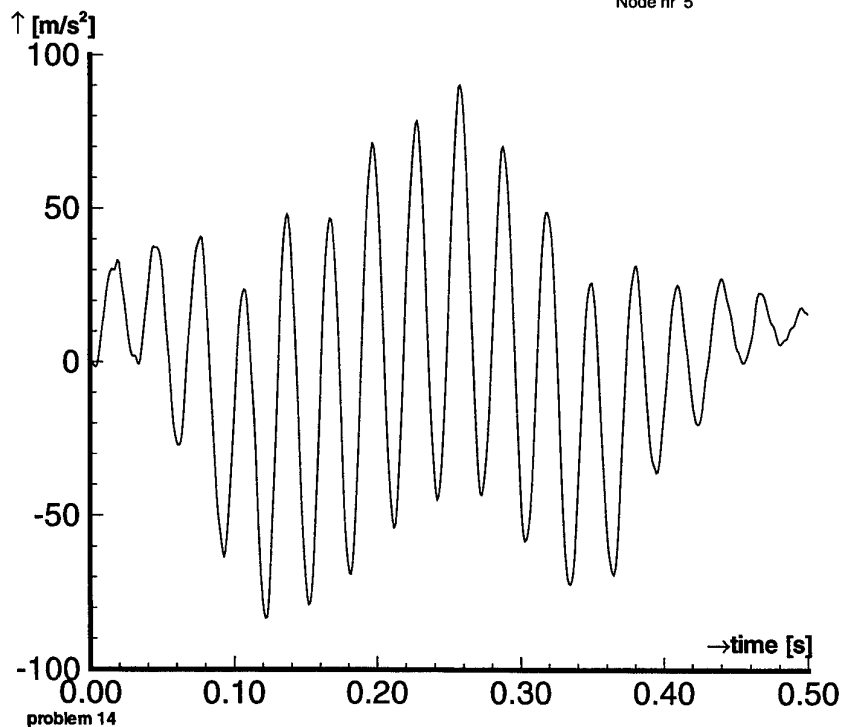


fig. A.14.6 Versnelling som 14 vloer n.p. 5.

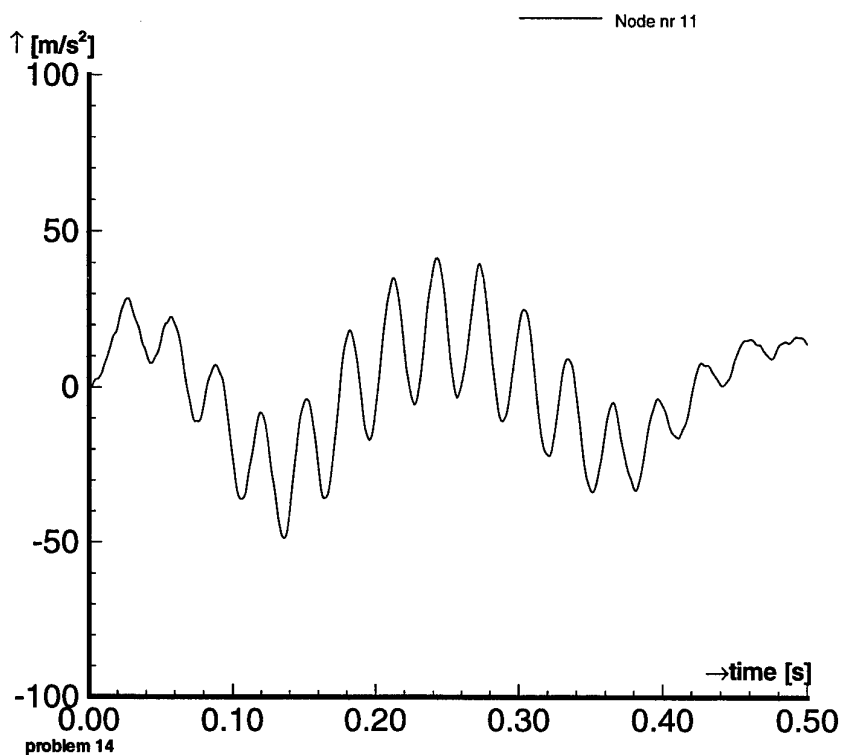


fig. A.14.7 Versnelling som 14 vloer n.p. 11.

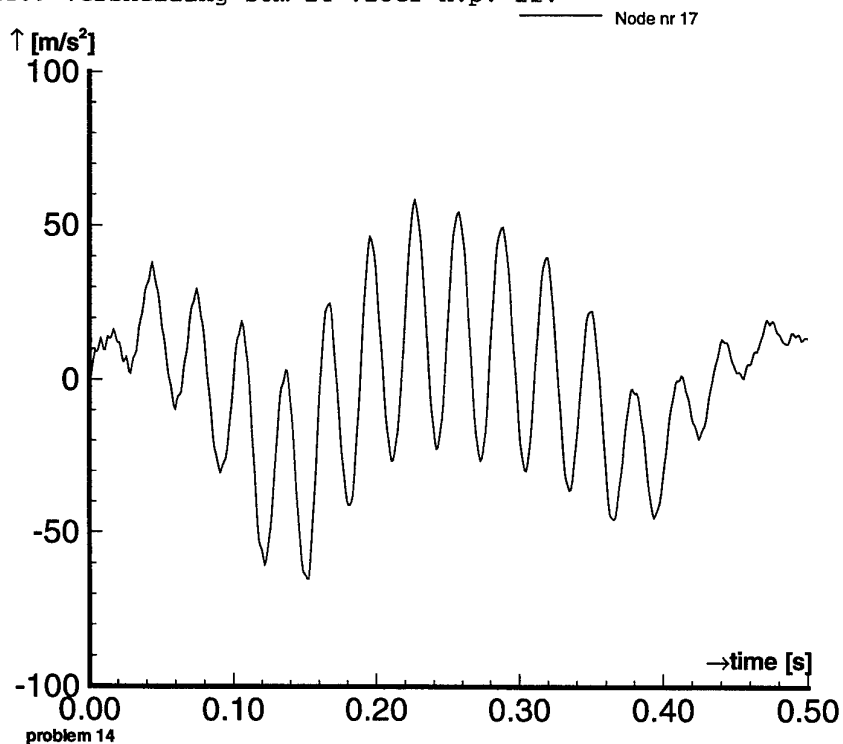


fig. A.14.8 Versnelling som 14 vloer n.p. 17.

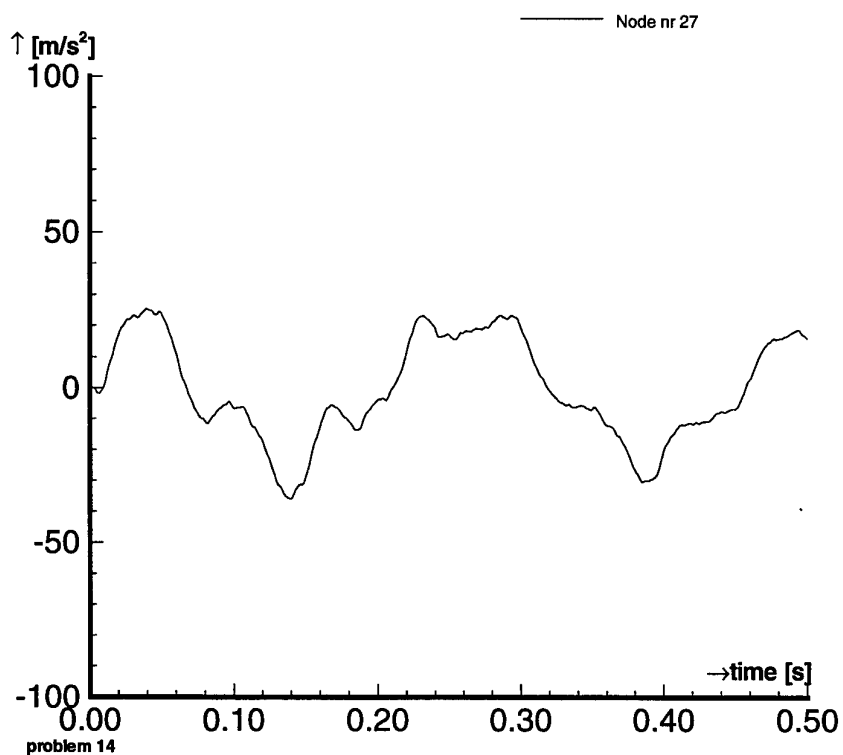


fig. A.14.9 Versnelling som 14 vloer n.p. 27.

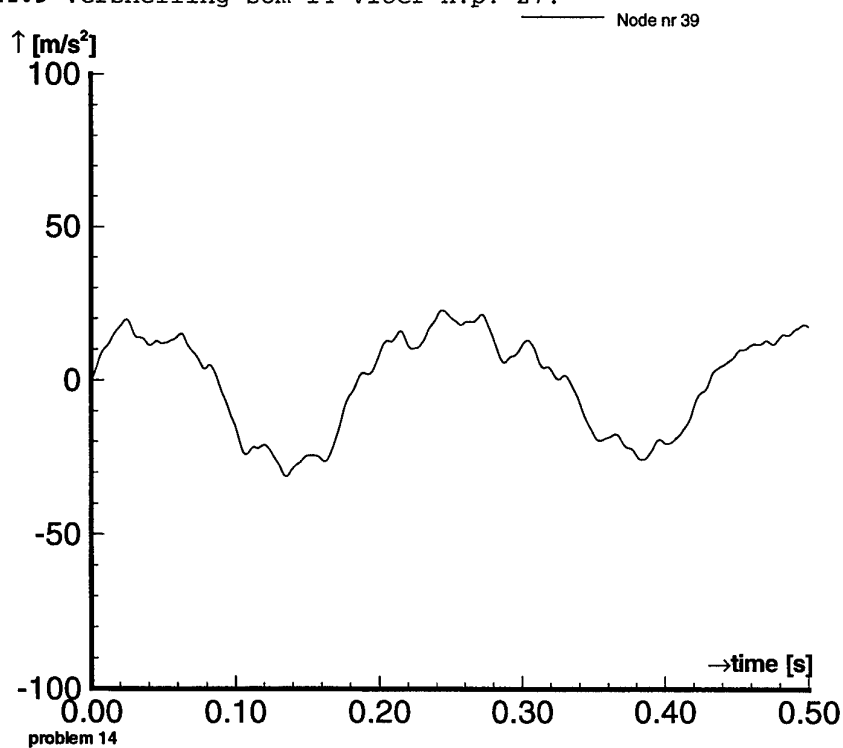


fig. A.14.10 Versnelling som 14 vloer n.p. 39.

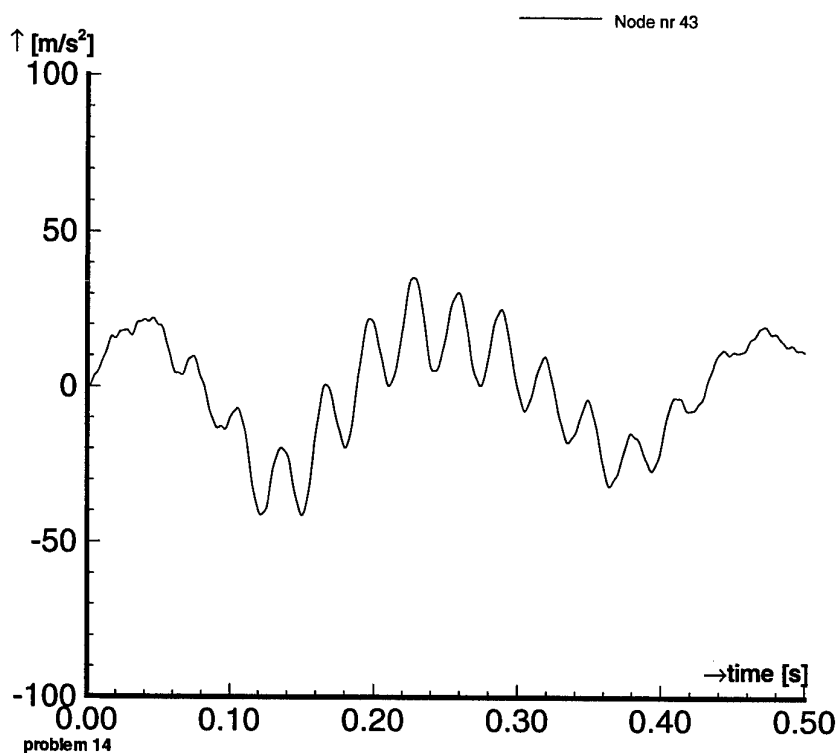


fig. A.14.11 Versnelling som 14 vloer n.p. 43.

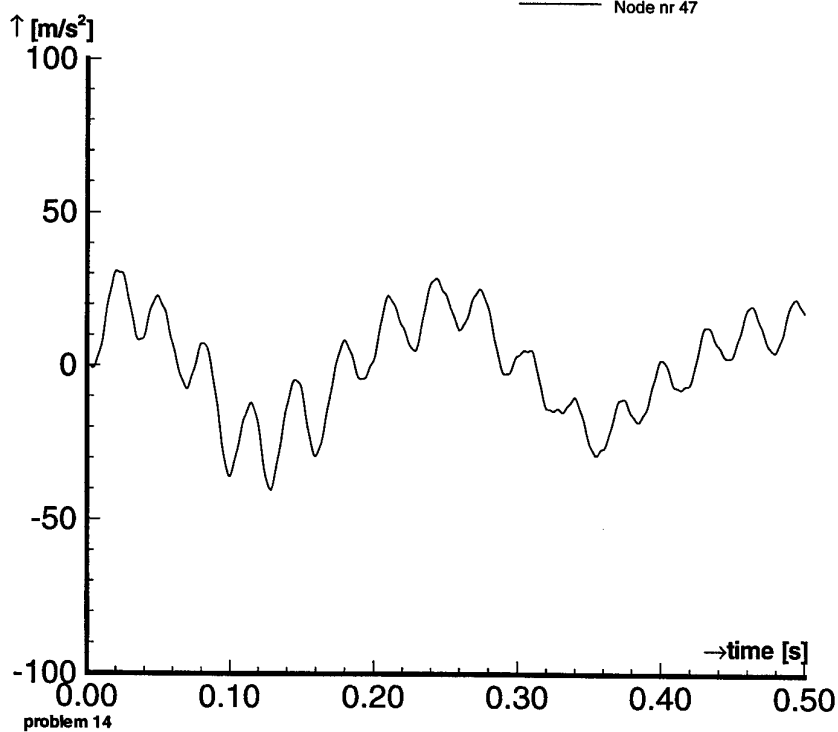


fig. A.14.12 Versnelling som 14 vloer n.p. 47.

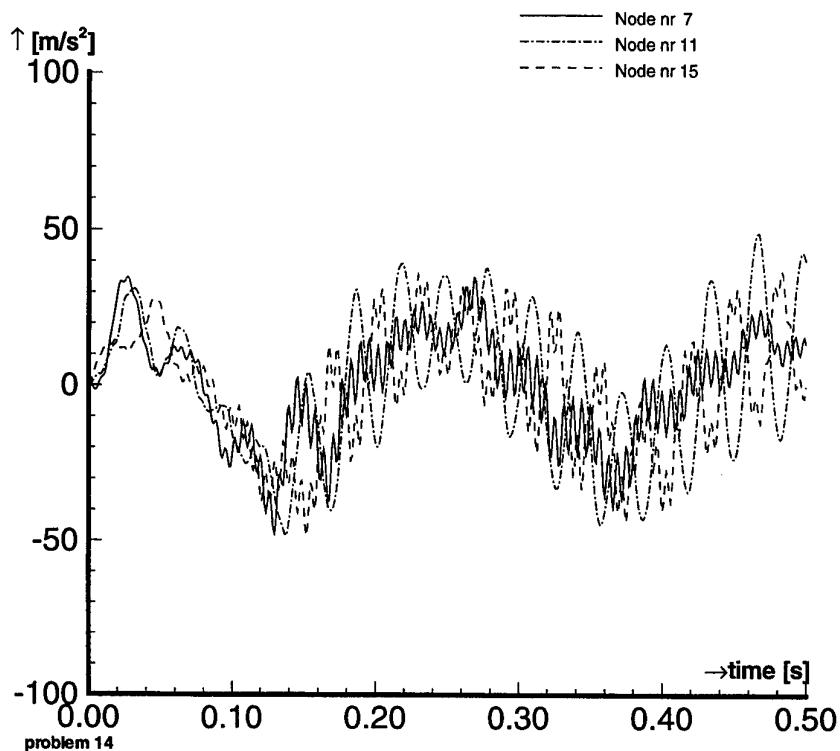


fig. A.14.13 Versnelling som 14 vloer n.p. 7, 11 en 15.

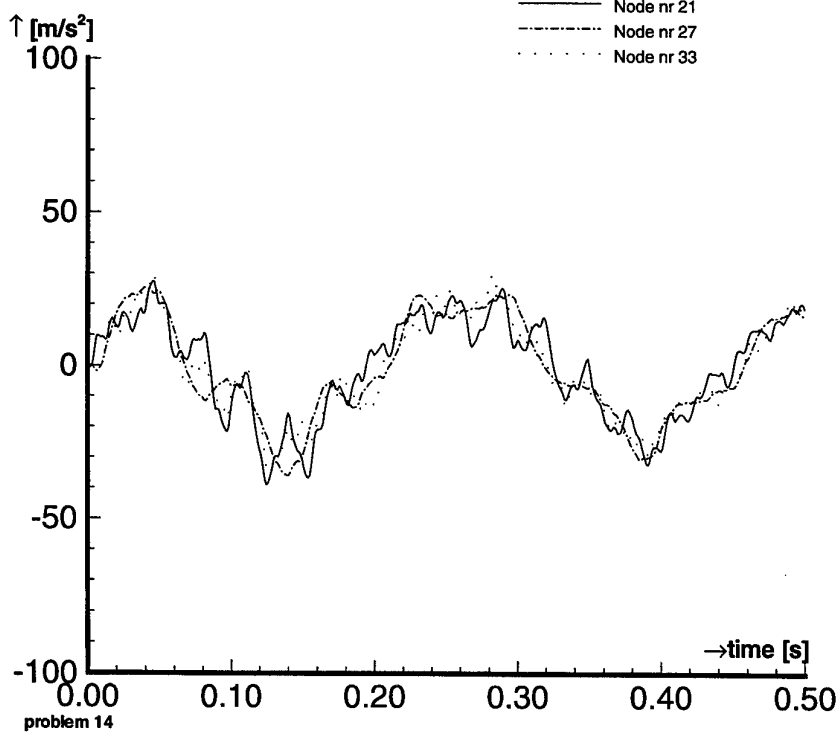


fig. A.14.14 Versnelling som 14 vloer n.p. 21, 27 en 33.

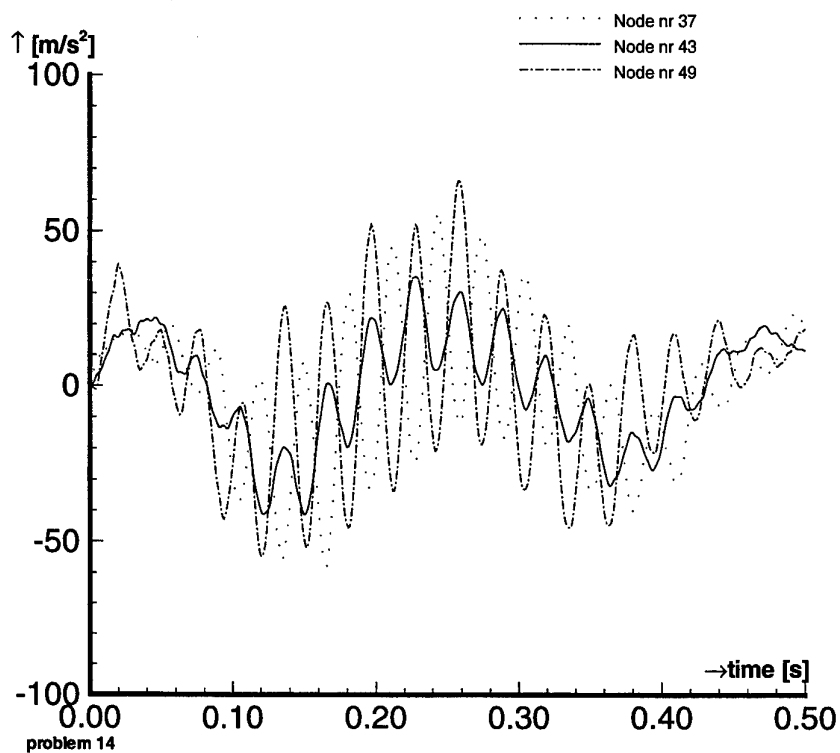


fig. A.14.15 Versnelling som 14 vloer n.p. 37, 43 en 49.

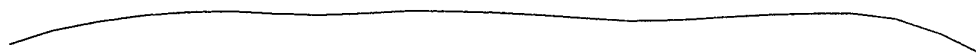


fig. A.14.16 Verplaatsing vloer som 14 na 135 ms.

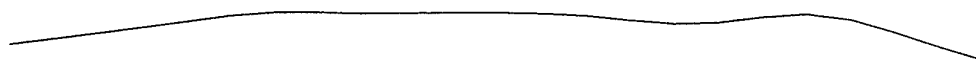


fig. A.14.17 Verplaatsing vloer som 14 na 149 ms.

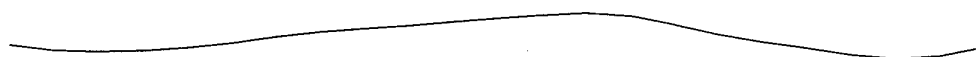


fig. A.14.18 Verplaatsing vloer som 14 na 210 ms.

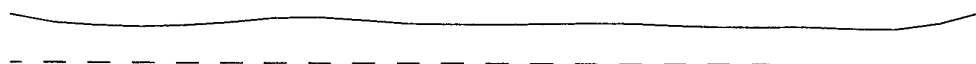


fig. A.14.19 Verplaatsing vloer som 14 na 242 ms.

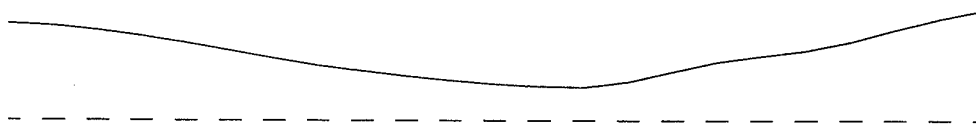


fig. A.14.20 Verplaatsing vloer som 14 na 289 ms.

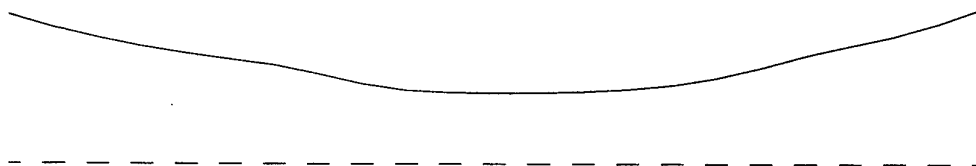


fig. A14.32 Verplaatsing vloer som 14 na 304 ms.

De verplaatsingen zijn in deze figuren een faktor 50 opgeschaald.

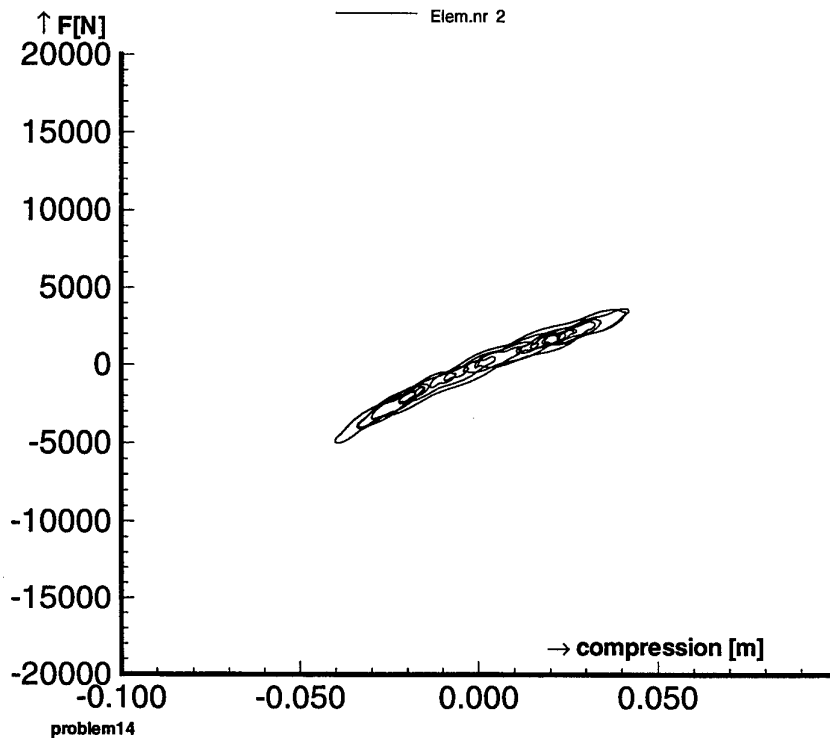


fig. A.14.22 Veerkarakteristiek som 14 element 2.

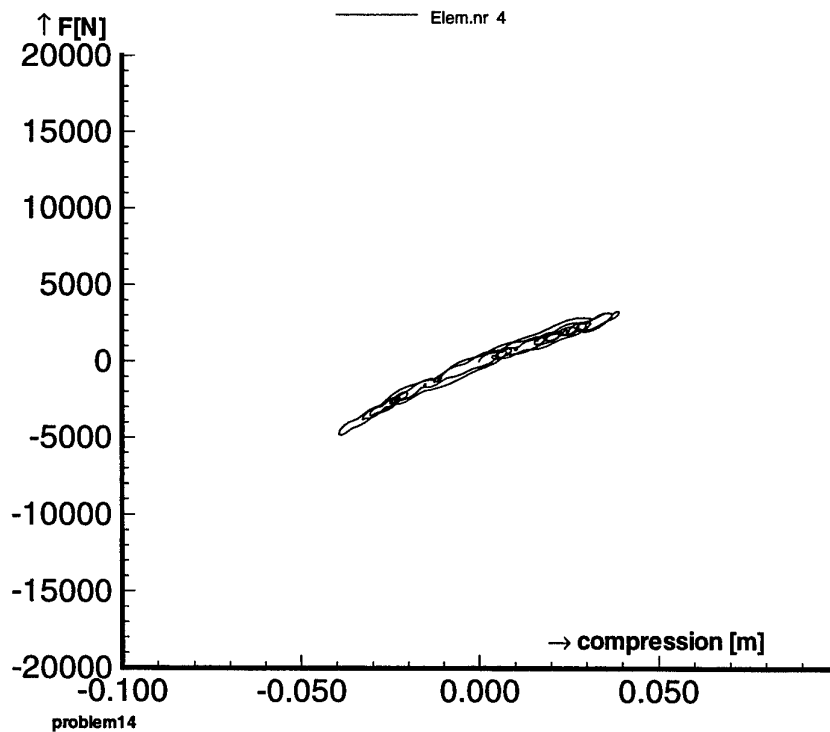


fig. A.14.23 Veerkarakteristiek som 14 element 4.

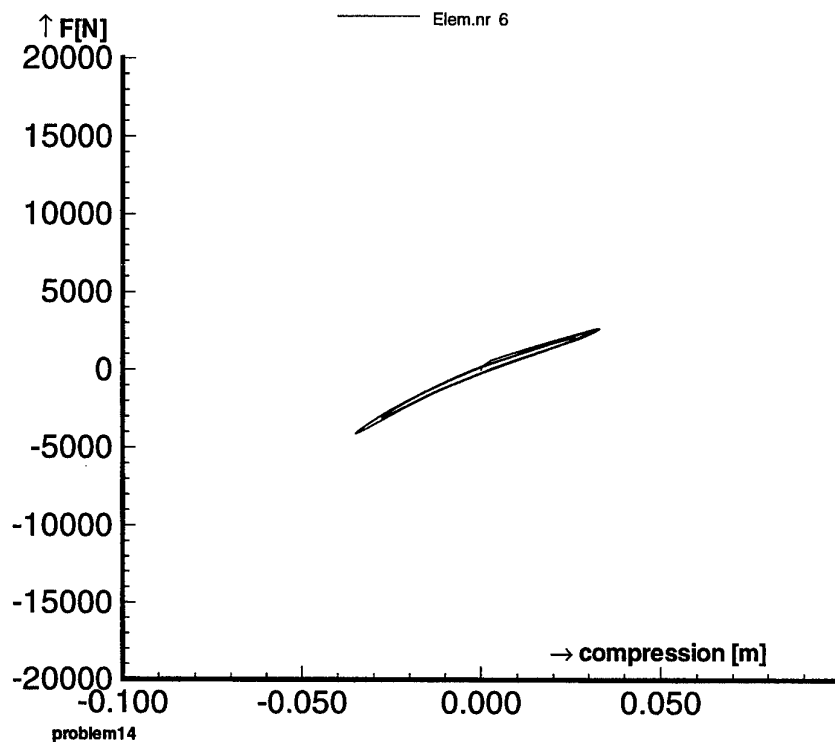


fig. A.14.24 Veer karakteristiek som 14 element 6.

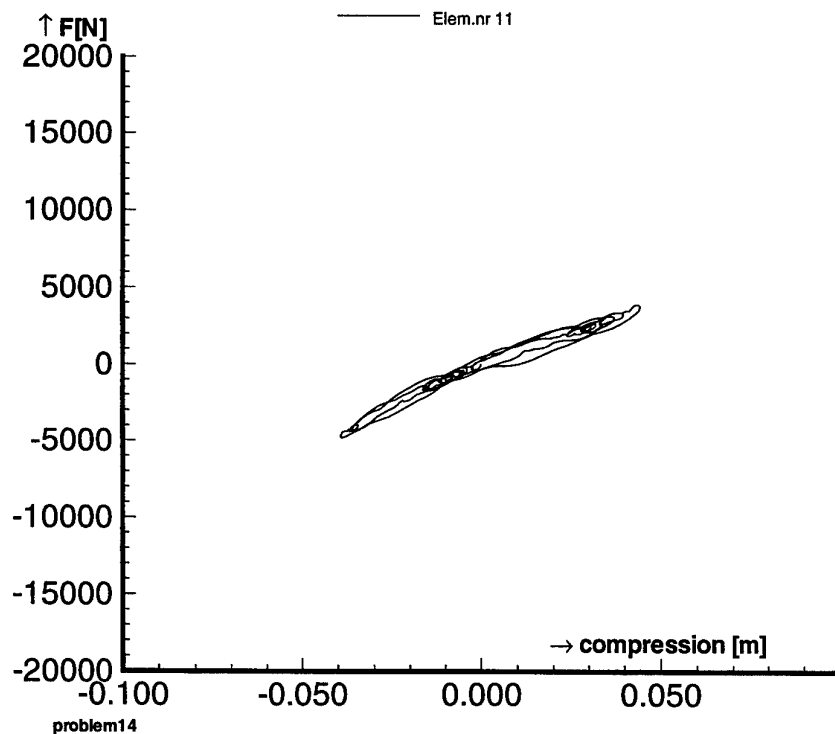


fig. A.14.25 Veer karakteristiek som 14 element 11.

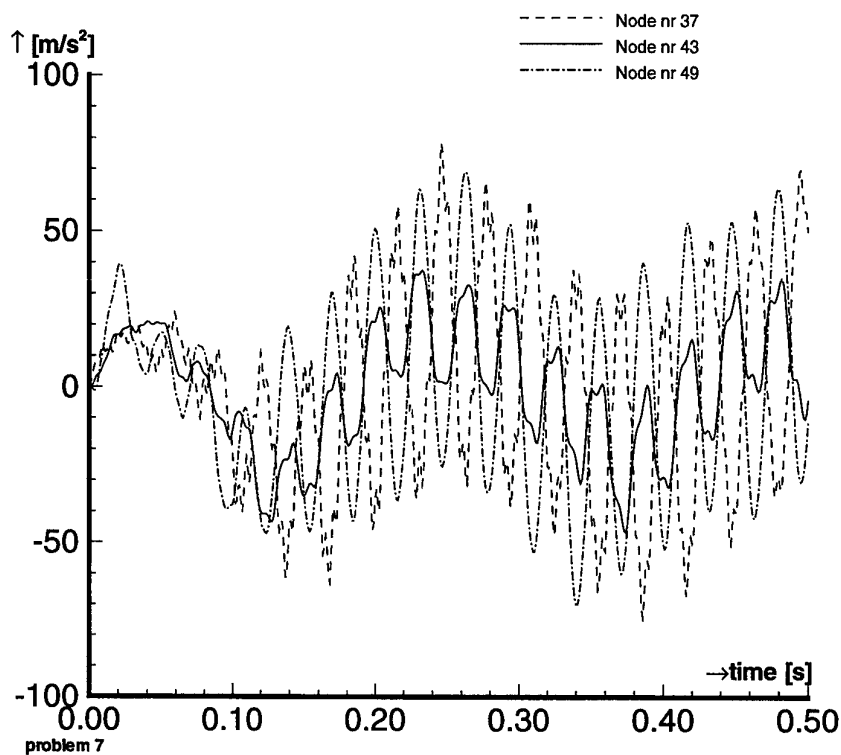
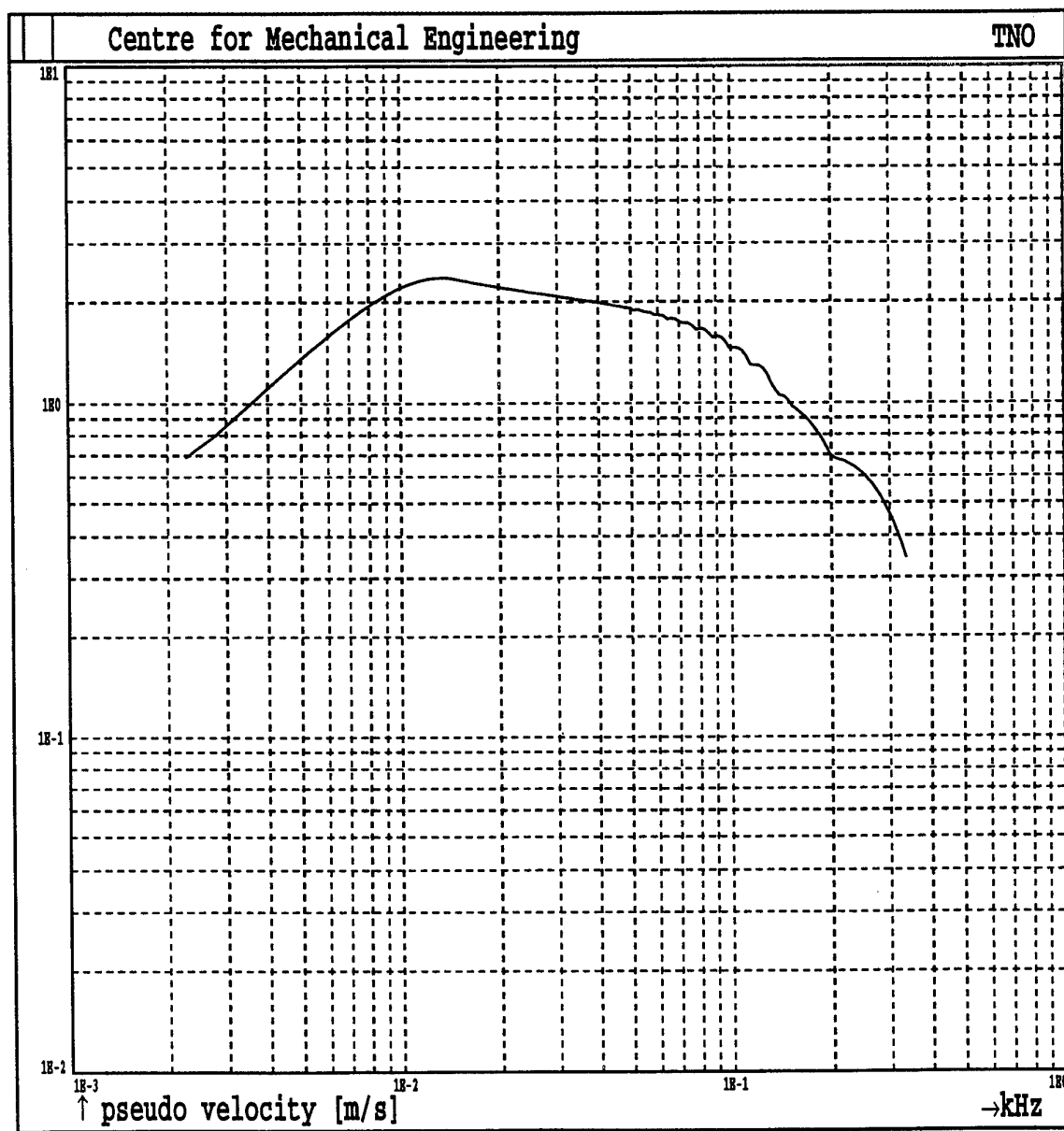
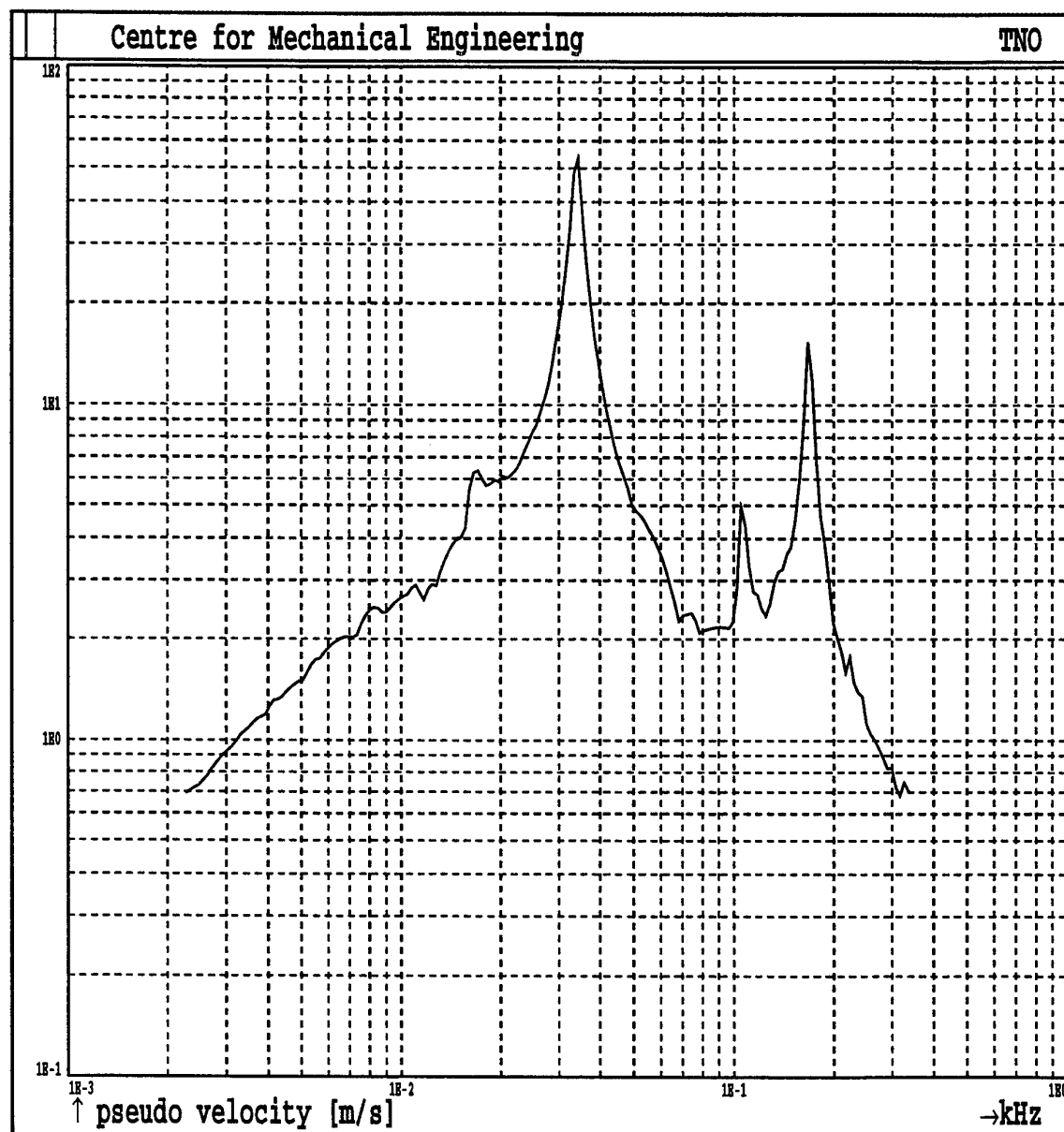


fig. A.14.26 Versnelling som 7 vloer n.p. 37, 43 en 49.



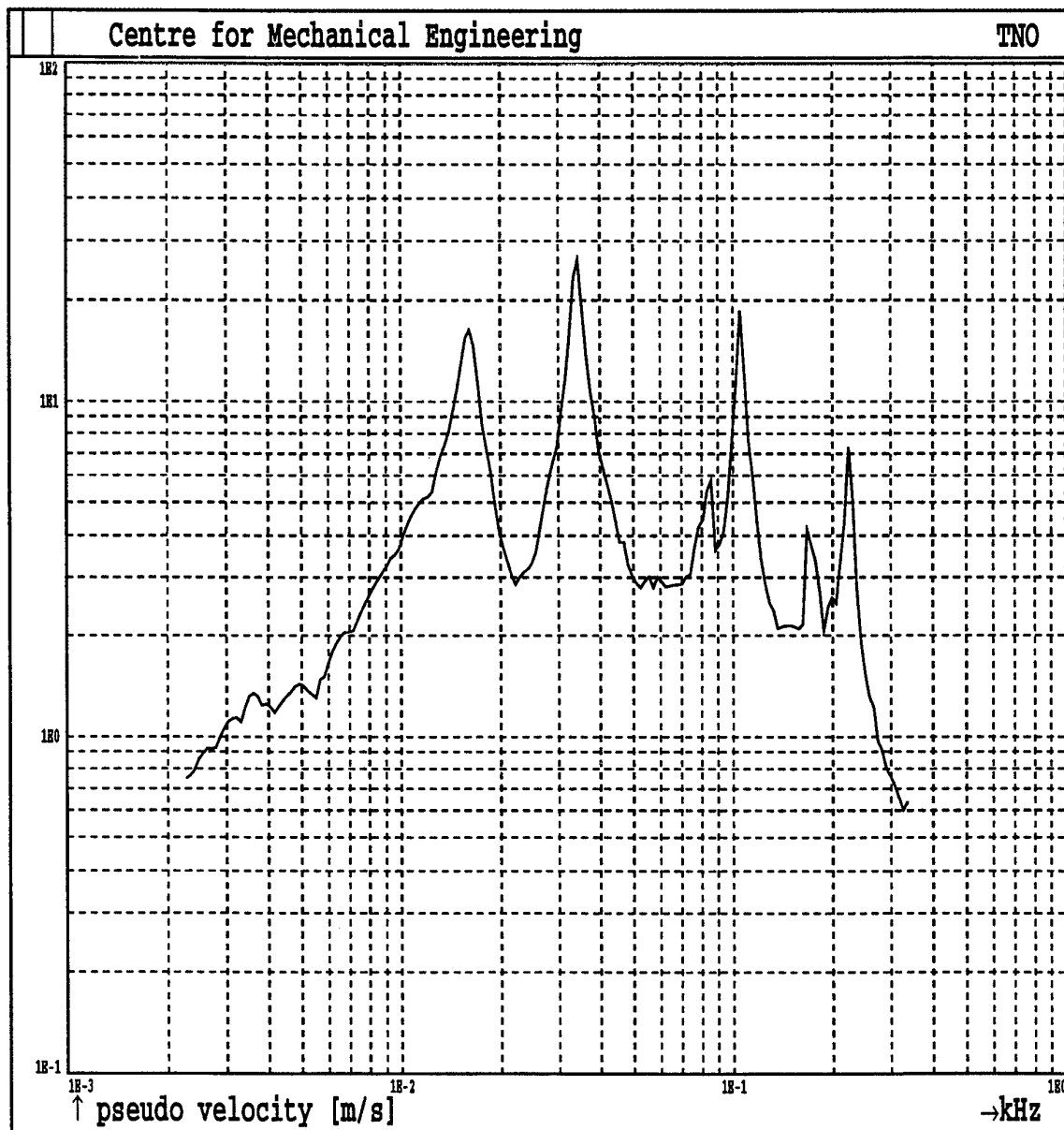
Som 14; Dek; N.p. 1

fig. A.14.27 Initieel schokspectrum, som 14, dek, n.p. 1



Som 14; Dek; N.p. 6

fig. A.14.28 Initieel schokspectrum, som 14, dek, n.p. 6



Som 14; Dek; N.p. 26

fig. A.14.29 Initieel schokspectrum, som 14, dek, n.p.26

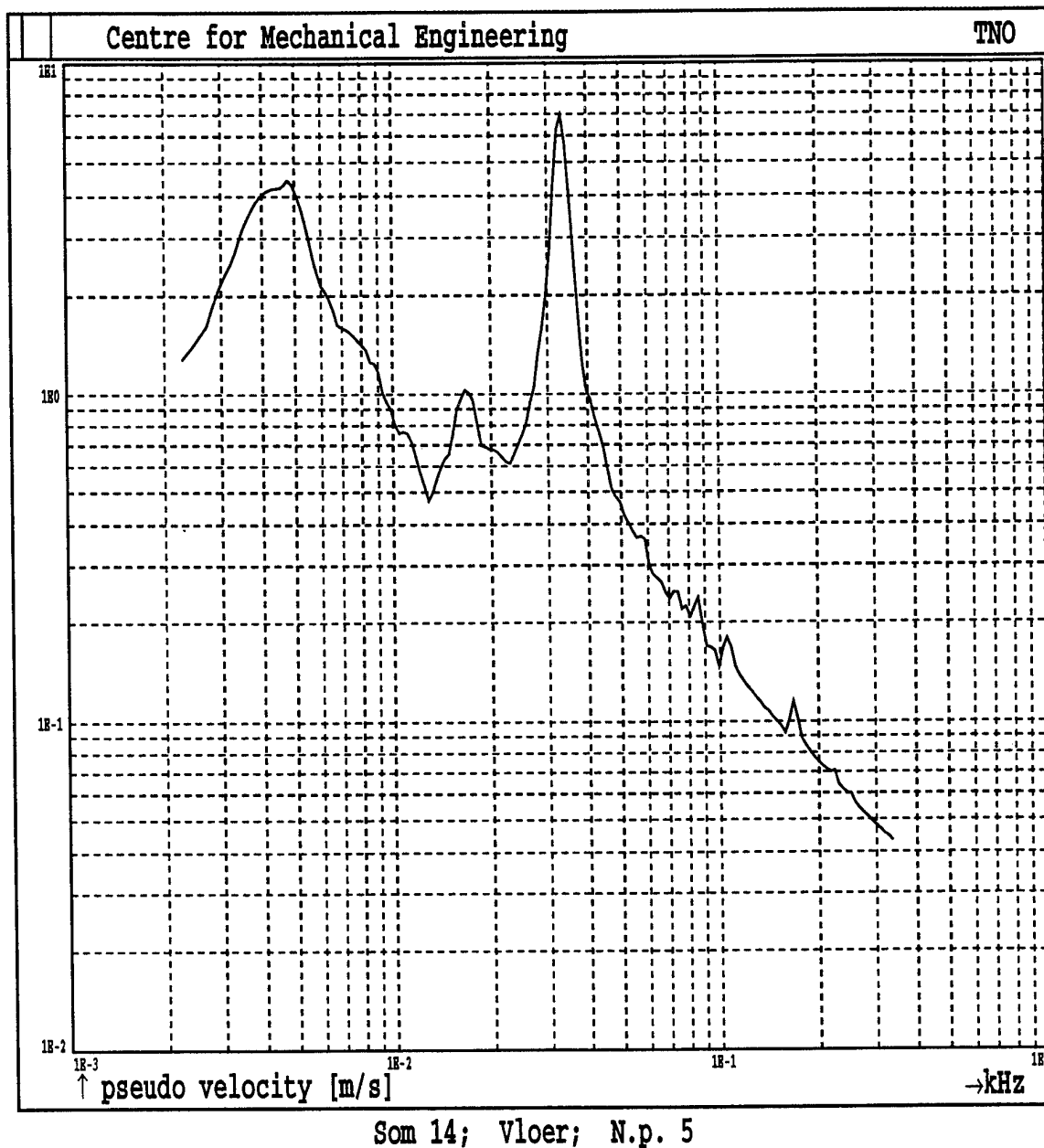
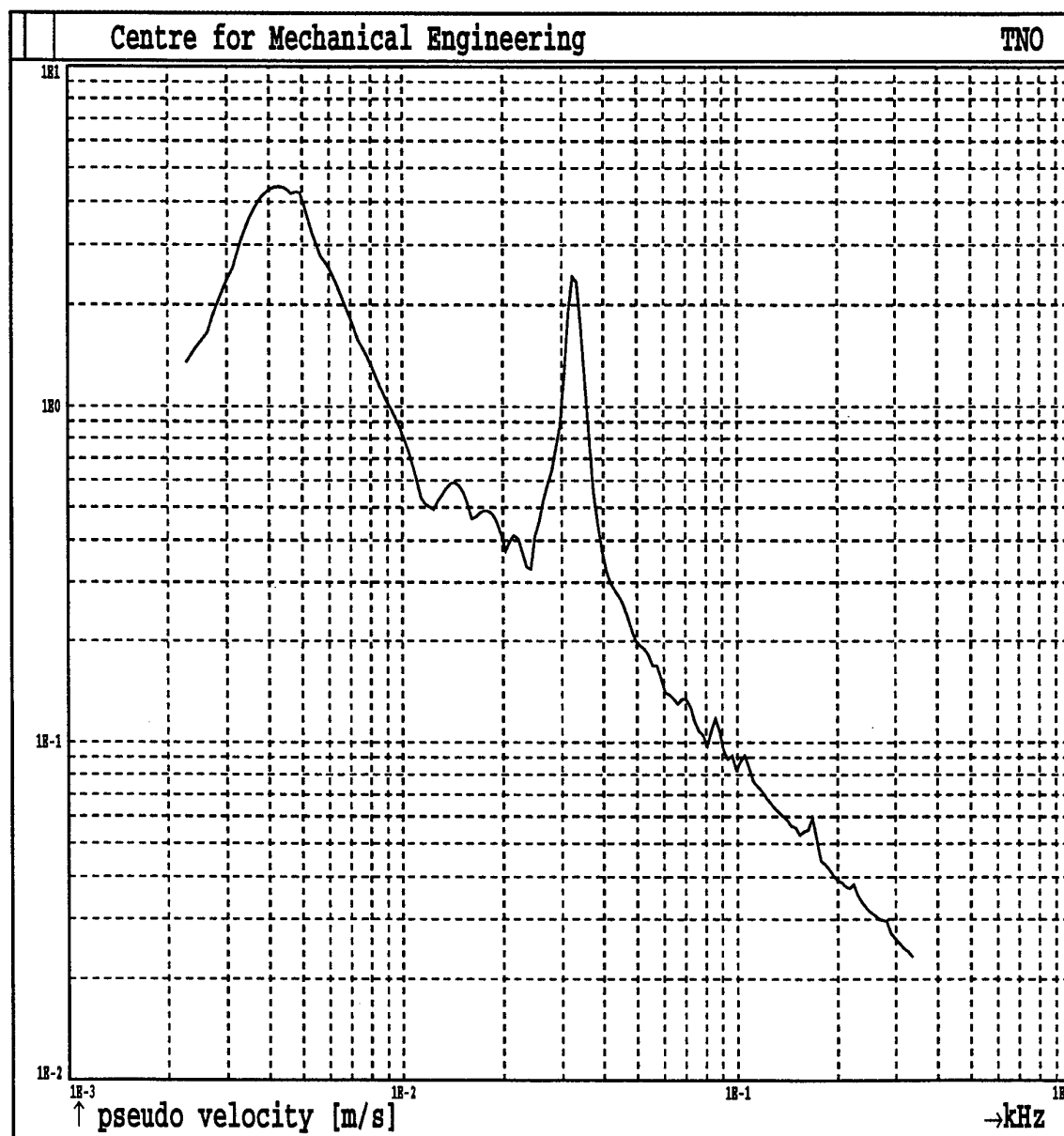
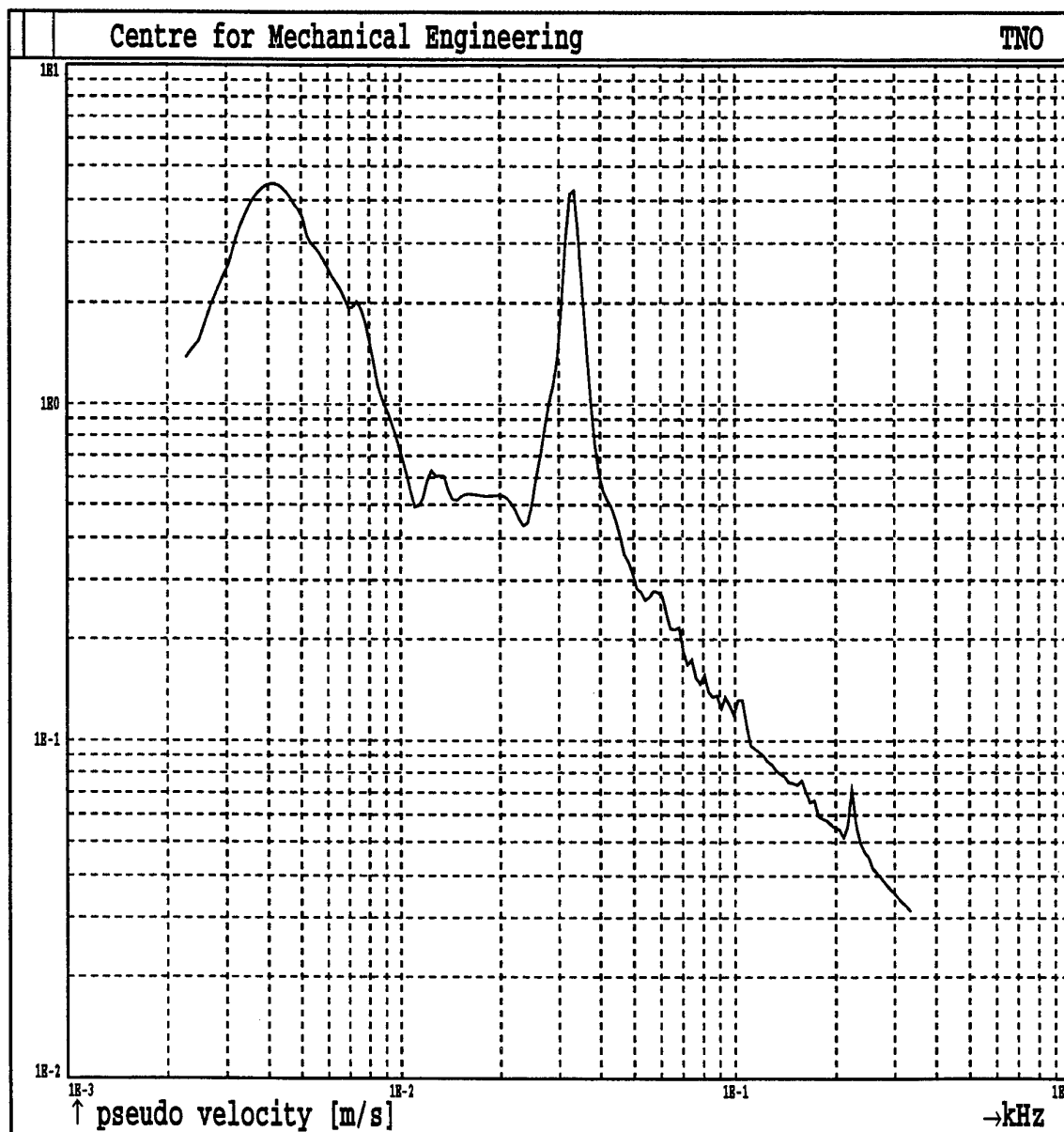


fig. A.14.30 Initieel schokspectrum, som 14, vloer, n.p. 5



Som 14; Vloer; N.p. 11

fig. A.14.31 Initieel schokspectrum, som 14, vloer, n.p. 11



Som 14; Vloer; N.p. 17

fig. A.14.32 Initieel schokspectrum, som 14, vloer, n.p. 17

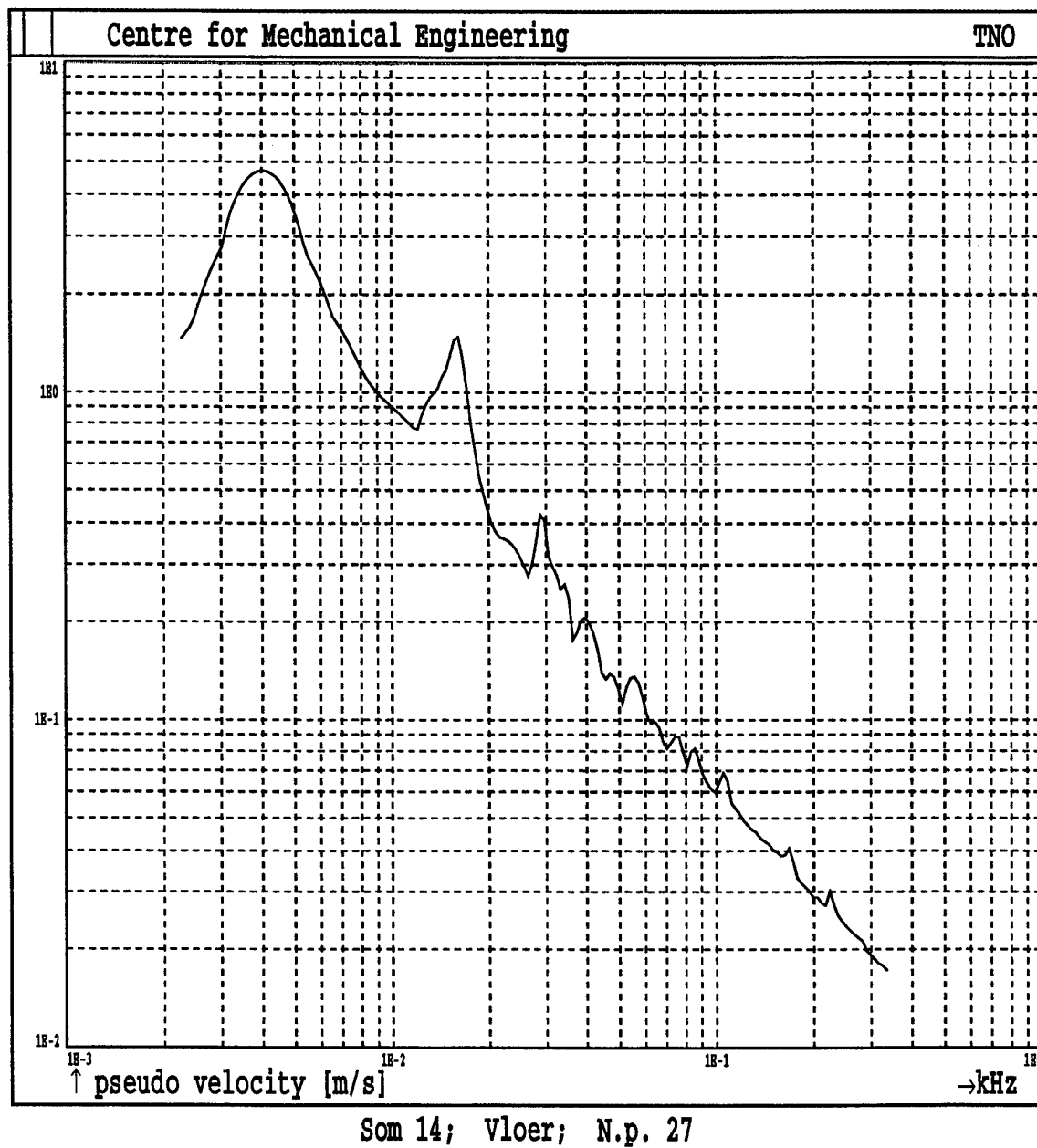
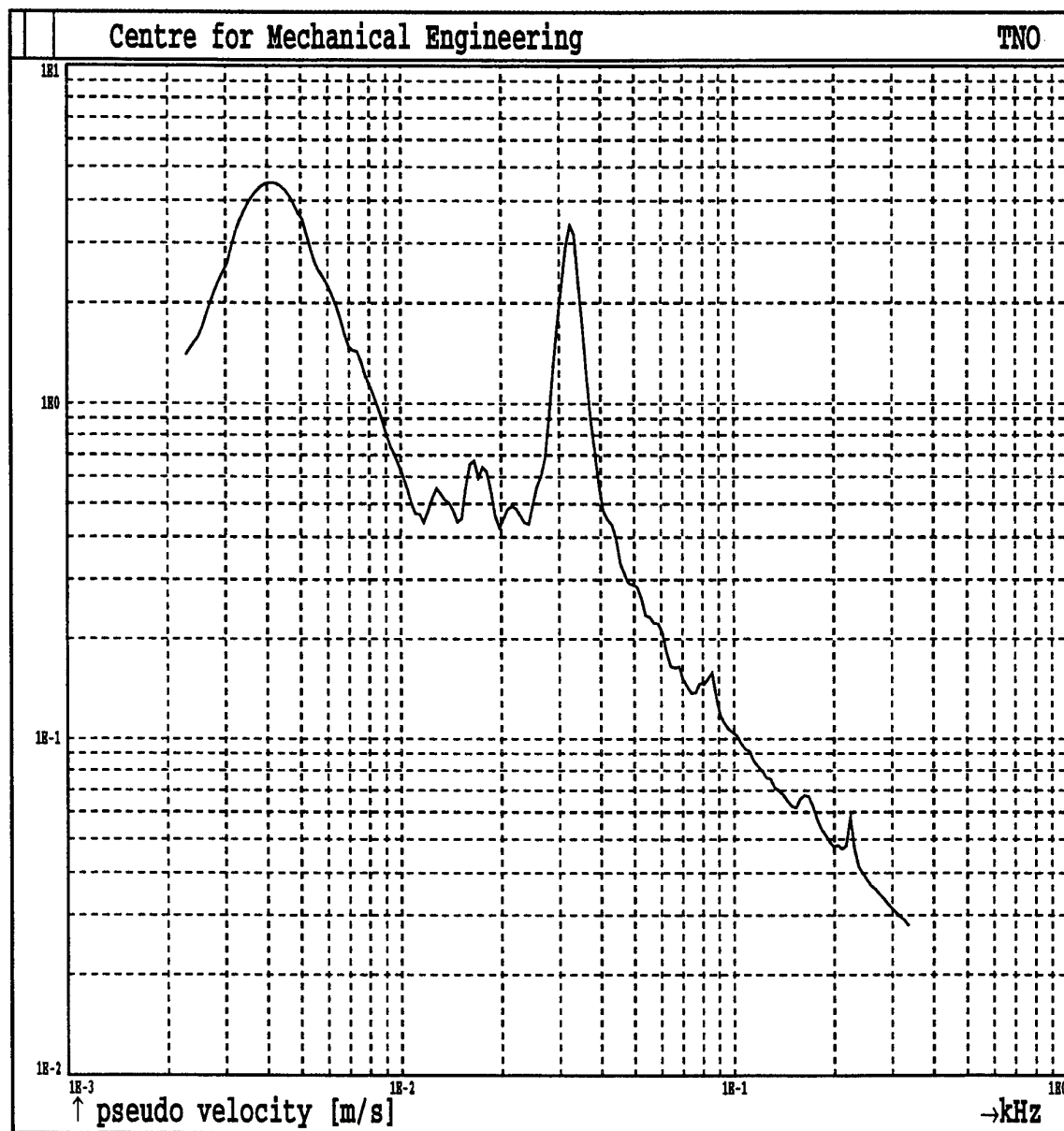
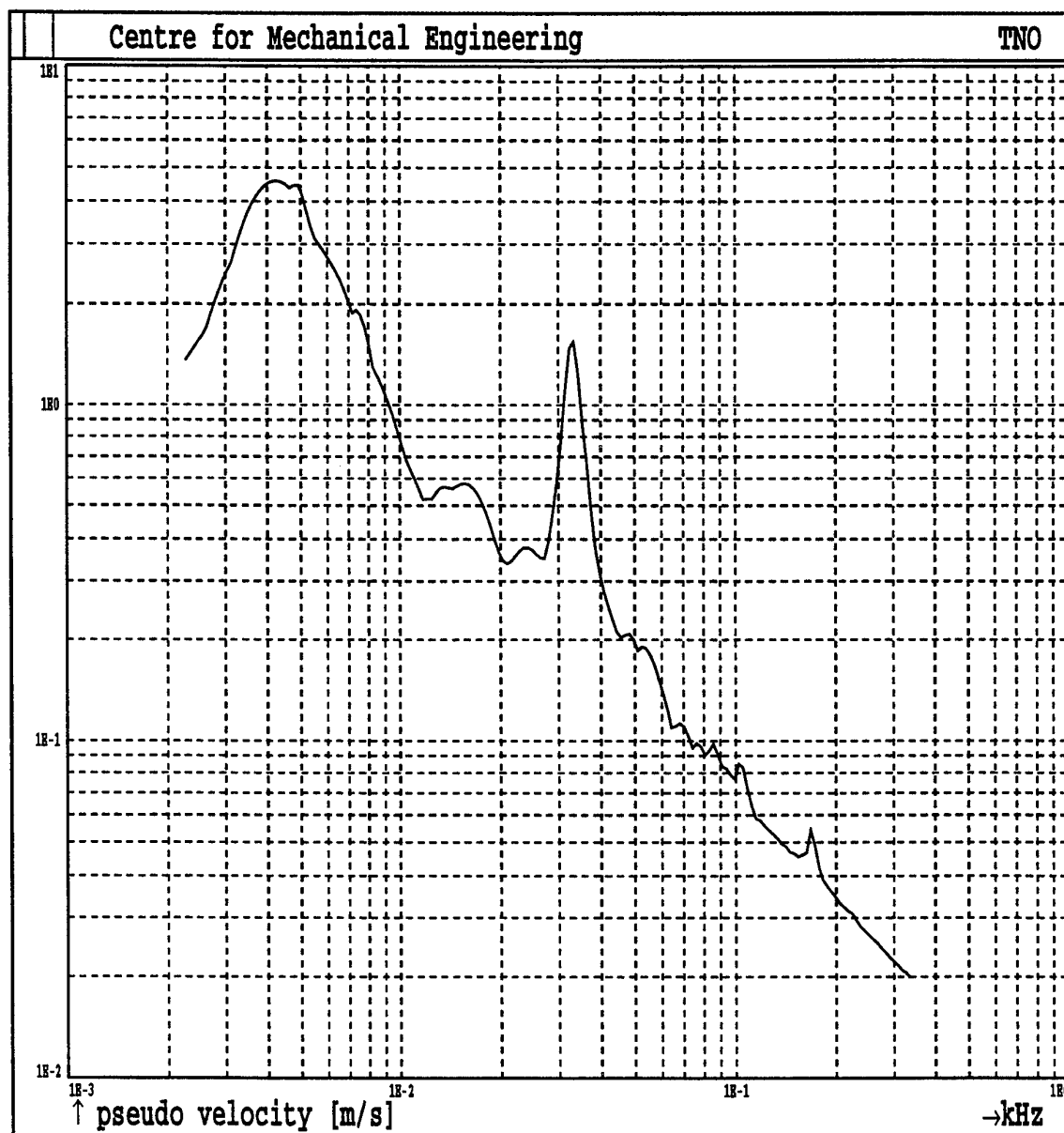


fig. A.14.33 Initieel schokspectrum, som 14, vloer, n.p. 27



Som 14; Vloer; N.p. 37

fig. A.14.34 Initieel schokspectrum, som 14, vloer, n.p. 37



Som 14; Vloer; N.p. 43

fig. A.14.35 Initieel schokspectrum, som 14, vloer, n.p. 43

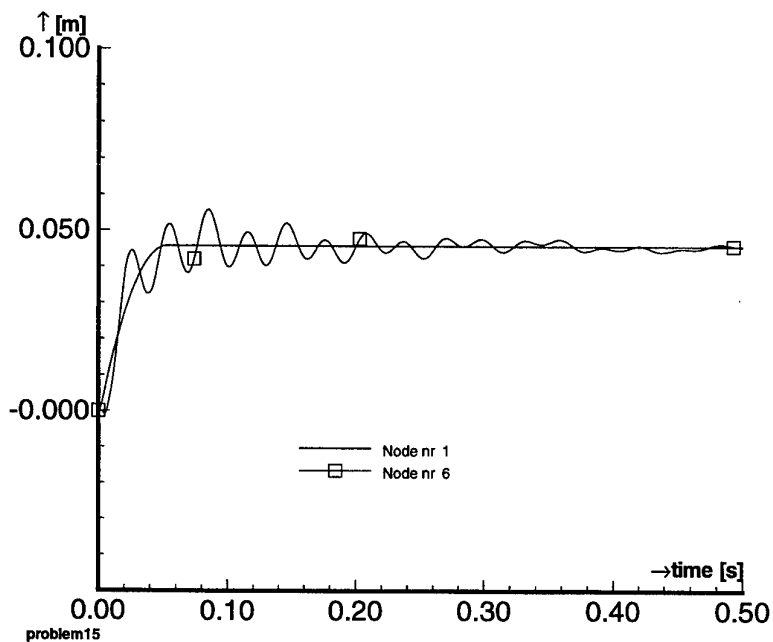


fig. A.15.1 Verplaatsing som 15 dek n.p. 6 en n.p. 1 (voorgeschreven).

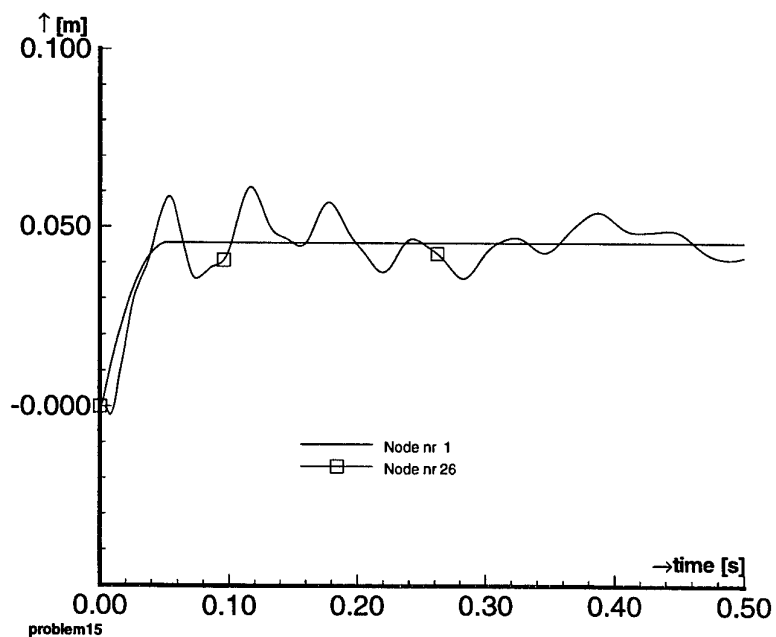


fig. A.15.2 Verplaatsing som 15 dek n.p. 26 en 1 (voorgeschreven).

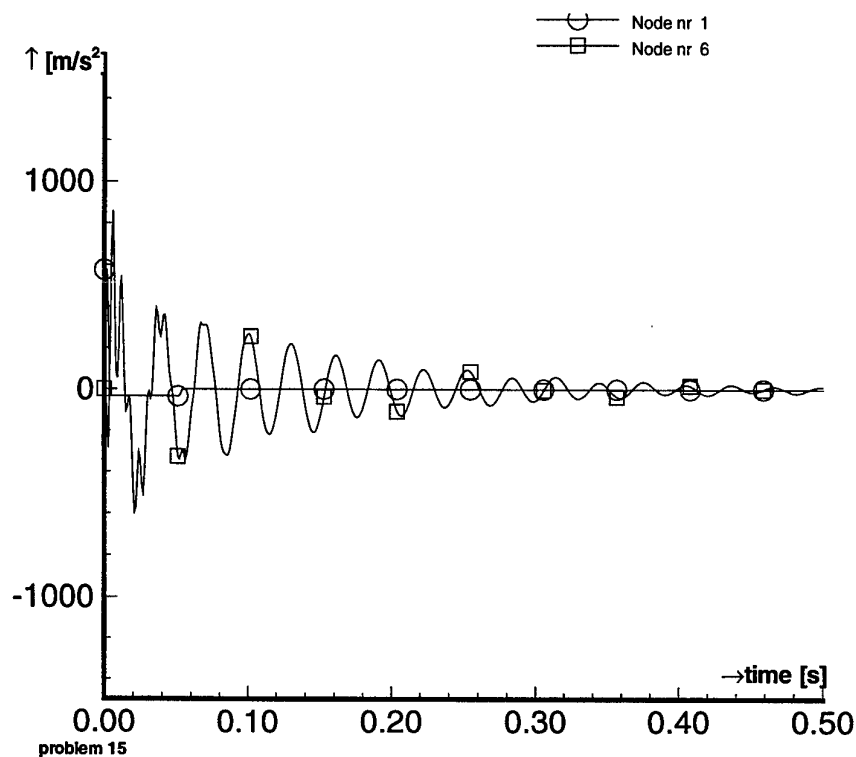


fig. A.15.3 Versnelling som 15 dek n.p. 6 en n.p. 1 (voorgeschreven).

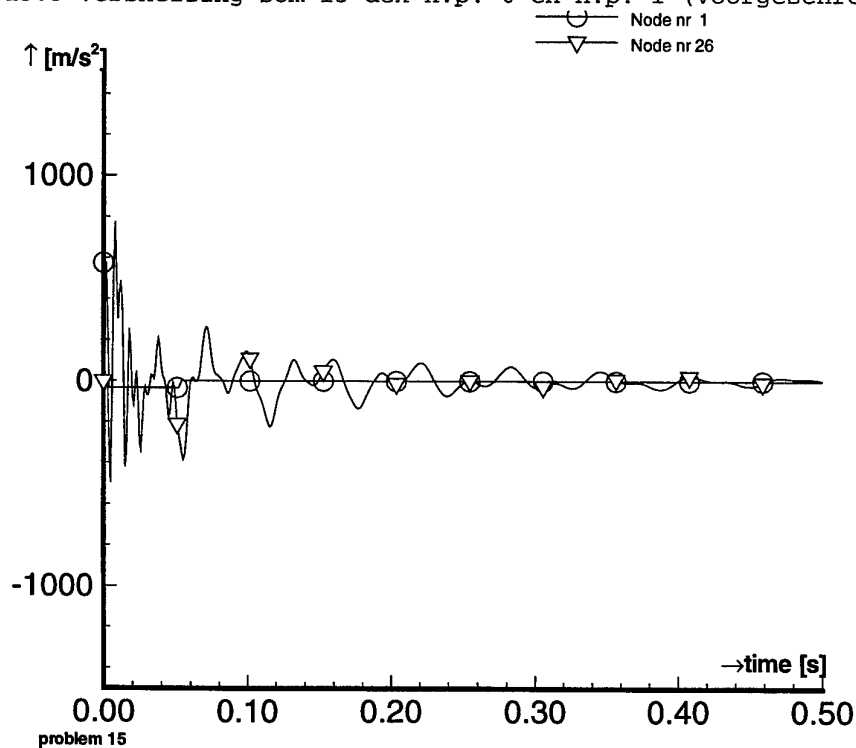


fig. A.15.4 Versnelling som 15 dek n.p. 26 en n.p. 1 (voorgeschreven).

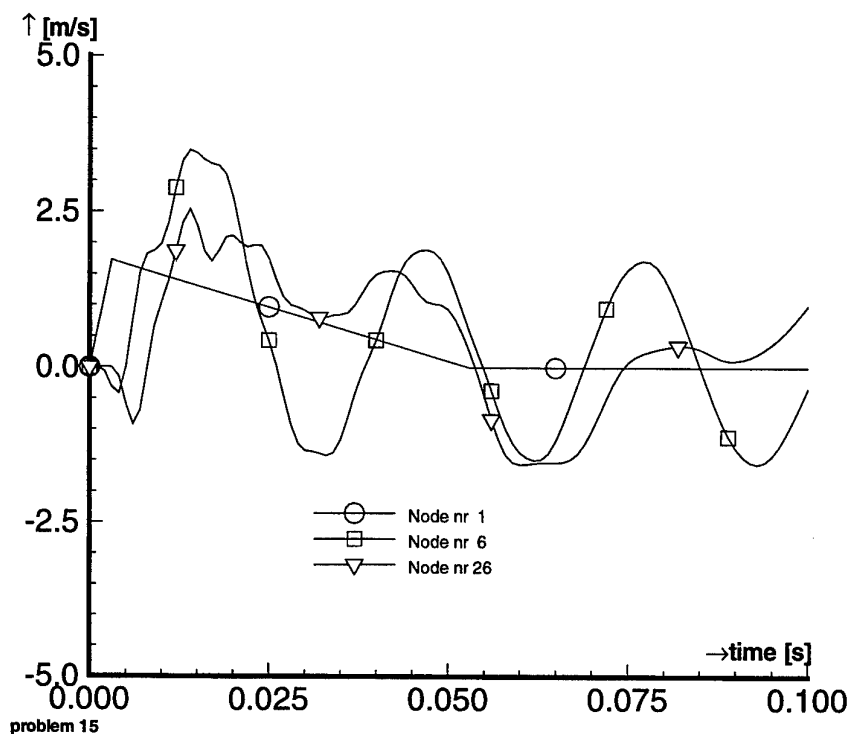


fig. A.15.5 Snelheid som 15 dek n.p. 6, 26 en 1 (voorgeschreven).

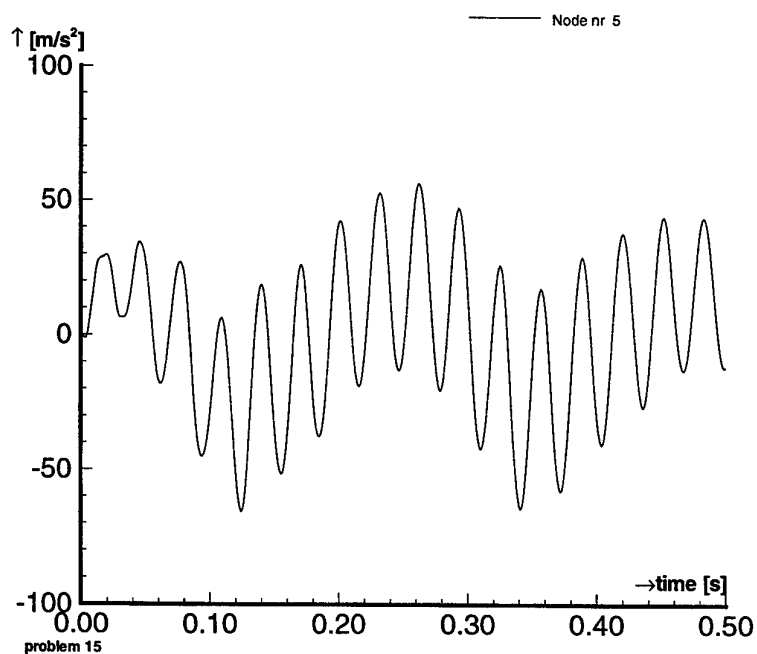


fig. A.15.6 Versnelling som 15 vloer n.p. 5.

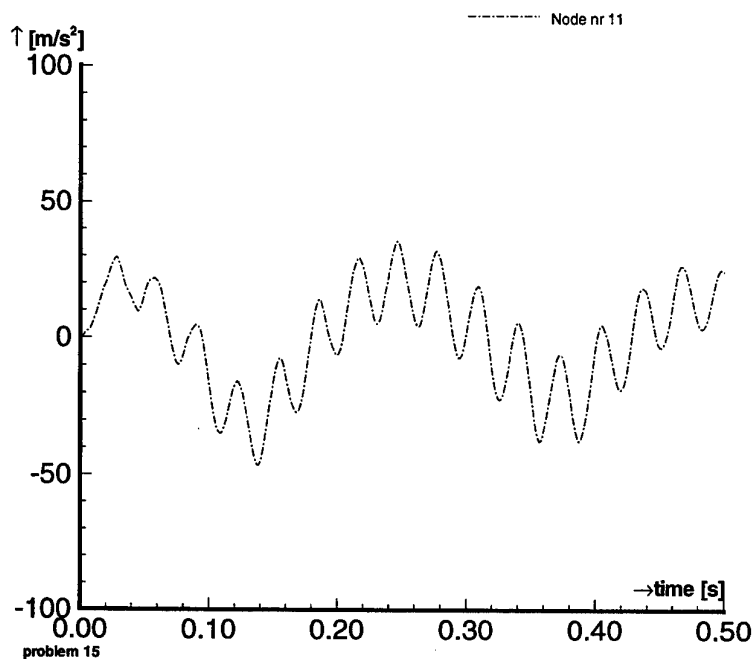


fig. A.15.7 Versnelling som 15 vloer n.p. 11.

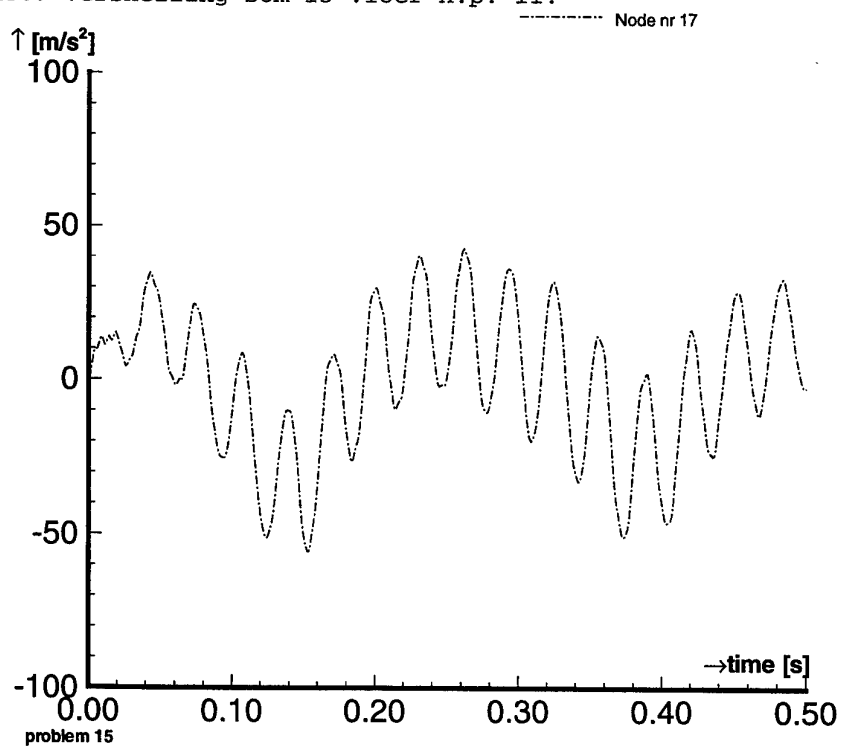


fig. A.15.8 Versnelling som 15 vloer n.p. 17.

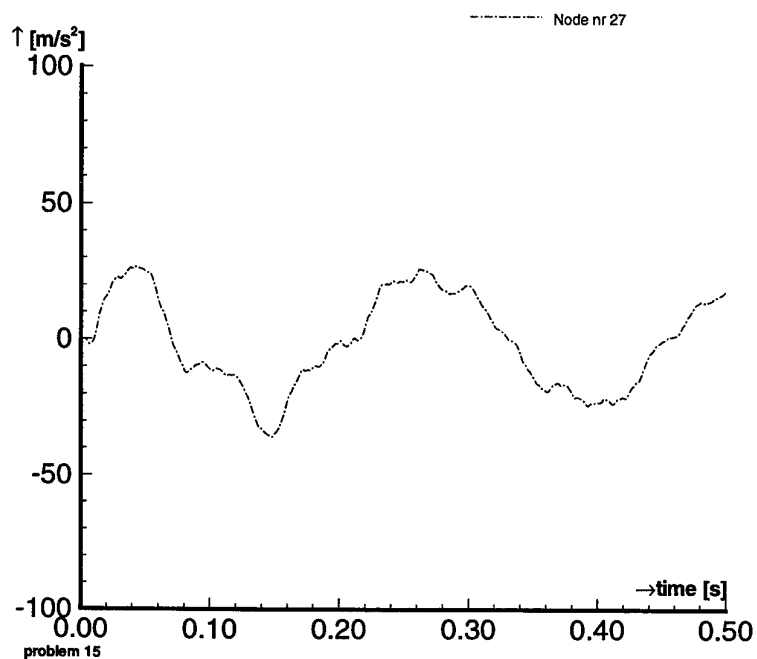


fig. A.15.9 Versnelling som 15 vloer n.p. 27.

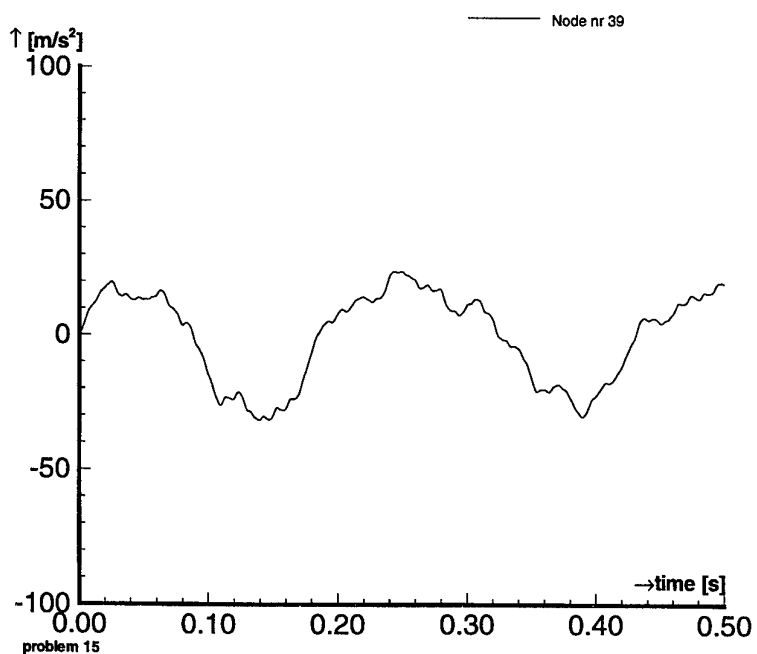


fig. A.15.10 Versnelling som 15 vloer n.p. 39.

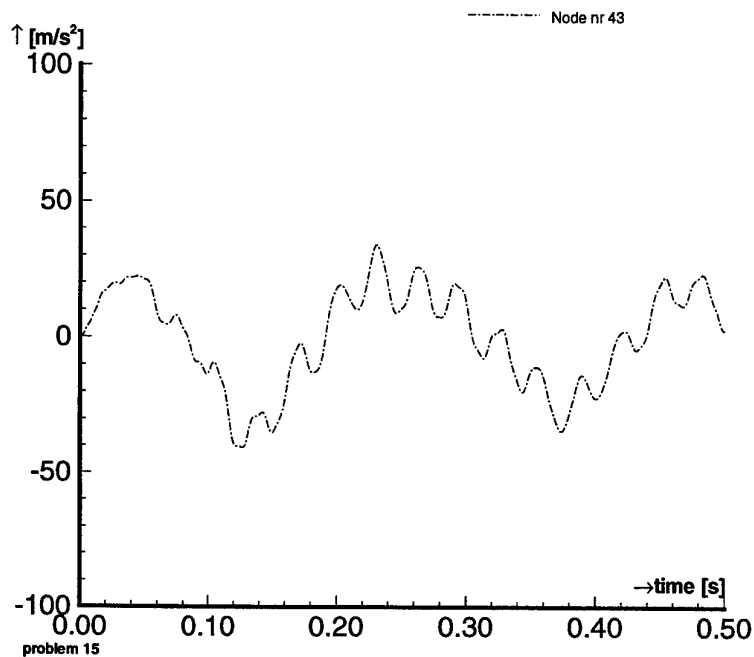


fig. A.15.11 Versnelling som 15 vloer n.p. 43.

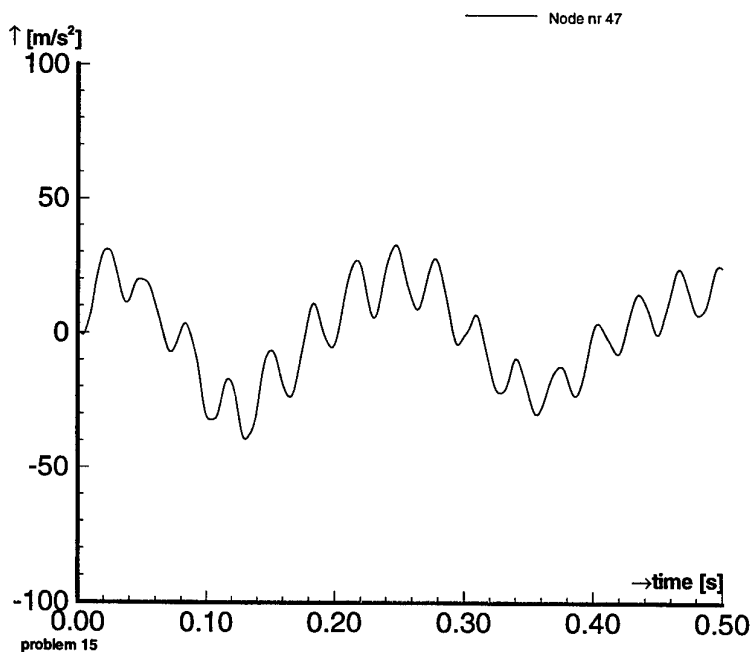


fig. A.15.12 Versnelling som 15 vloer n.p. 47.

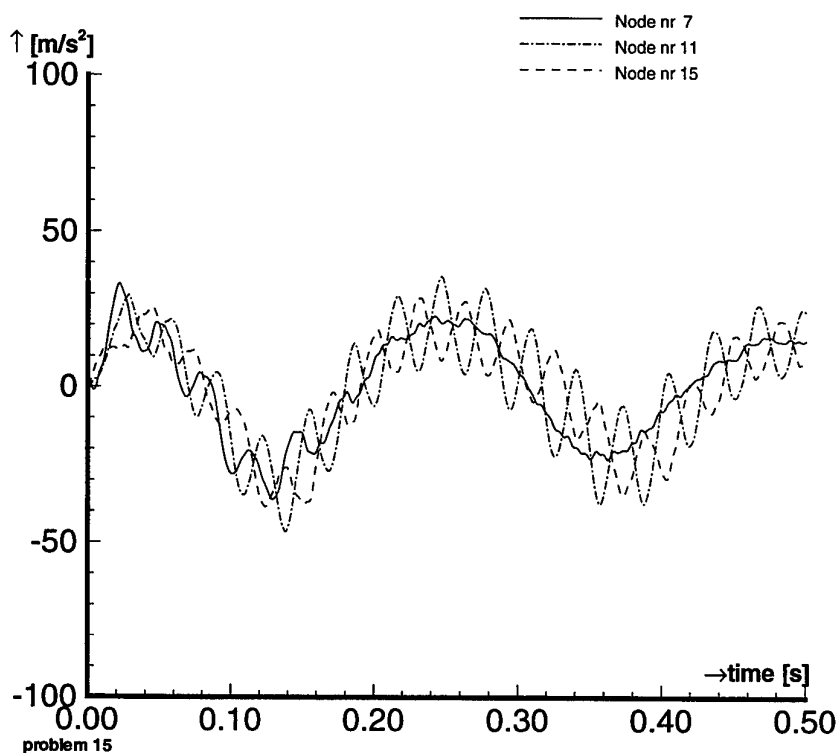


fig. A.15.13 Versnelling som 15 vloer n.p. 7, 11 en 15.

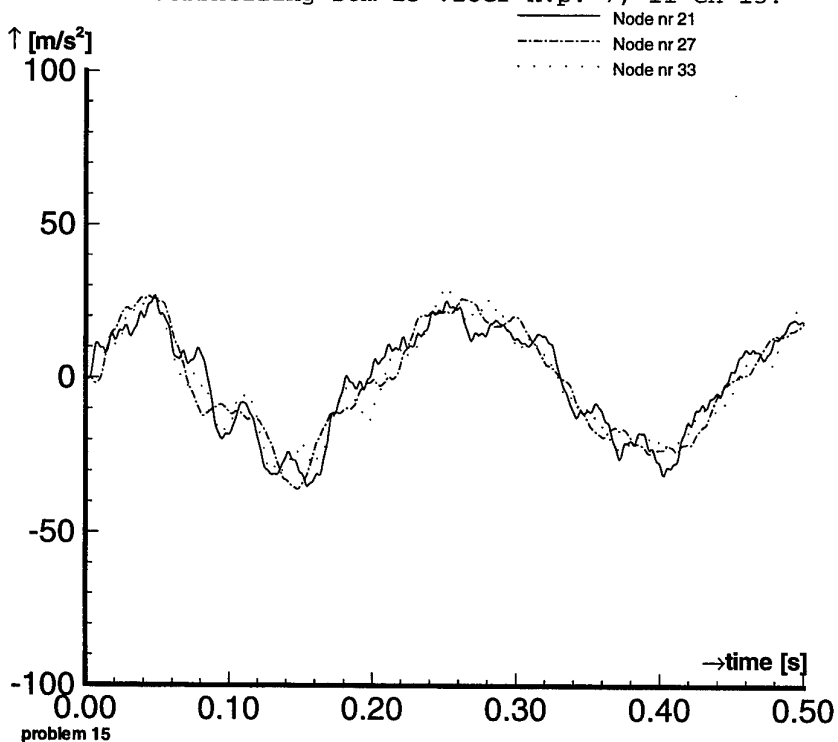


fig. A.15.14 Versnelling som 15 vloer n.p. 21, 27 en 33.

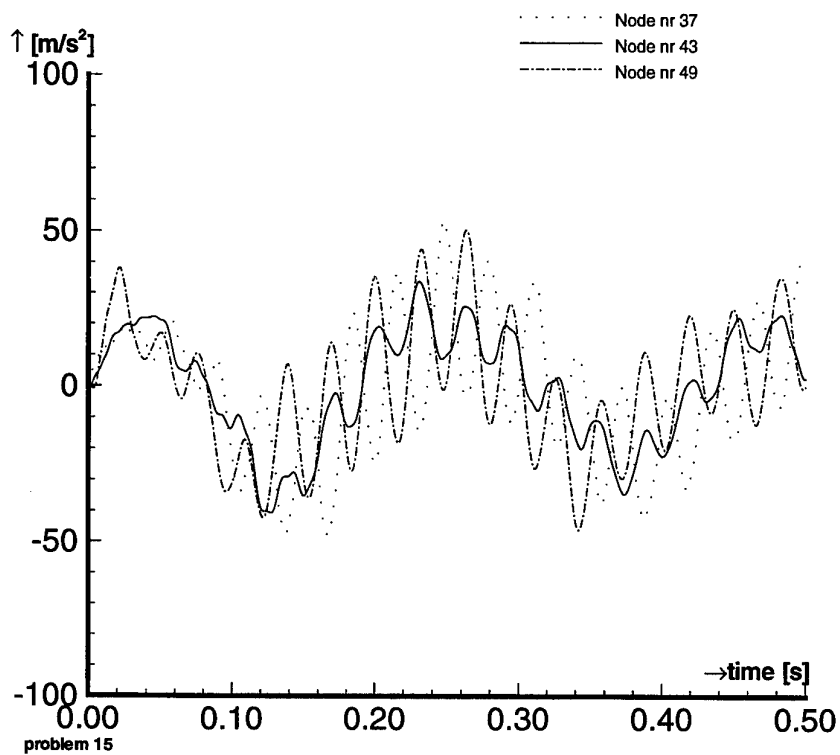


fig. A.15.15 Versnelling som 15 vloer n.p. 37, 43 en 49.

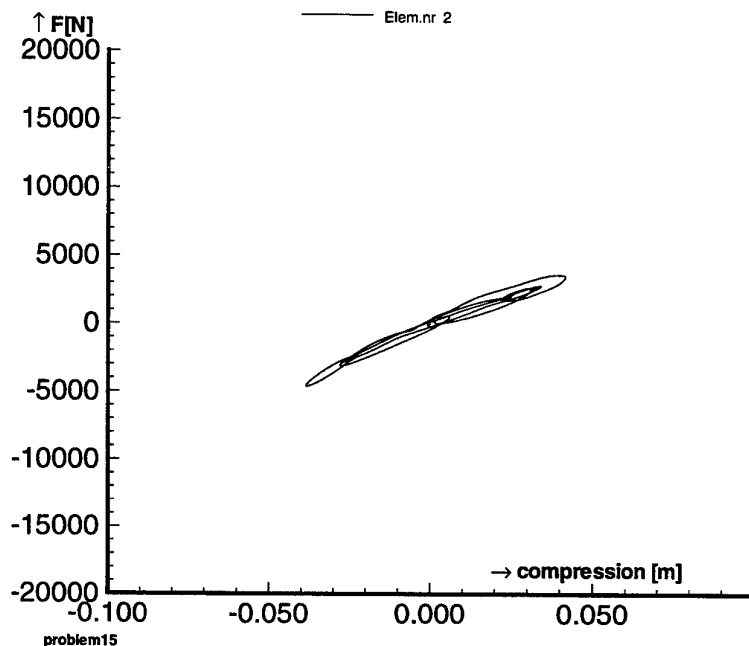


fig. A.15.16. Veerkarakteristiek som 15 element 2.

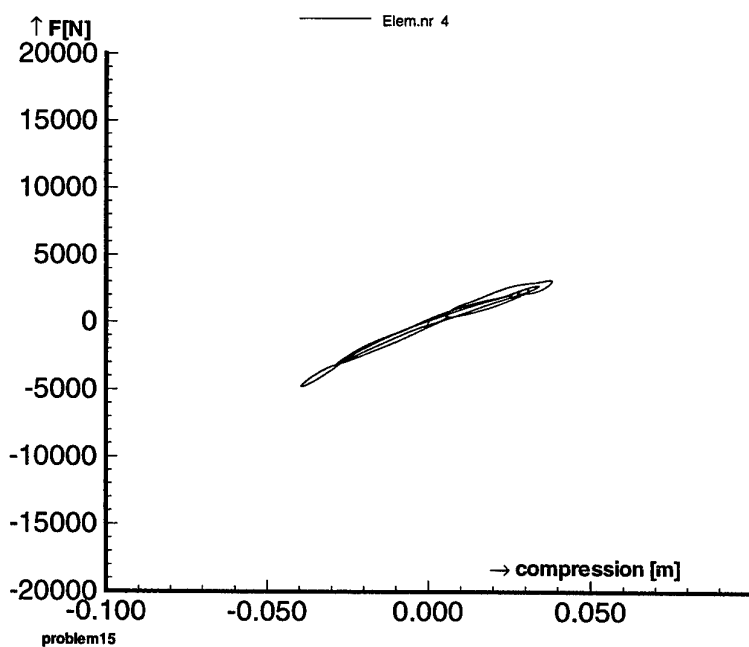
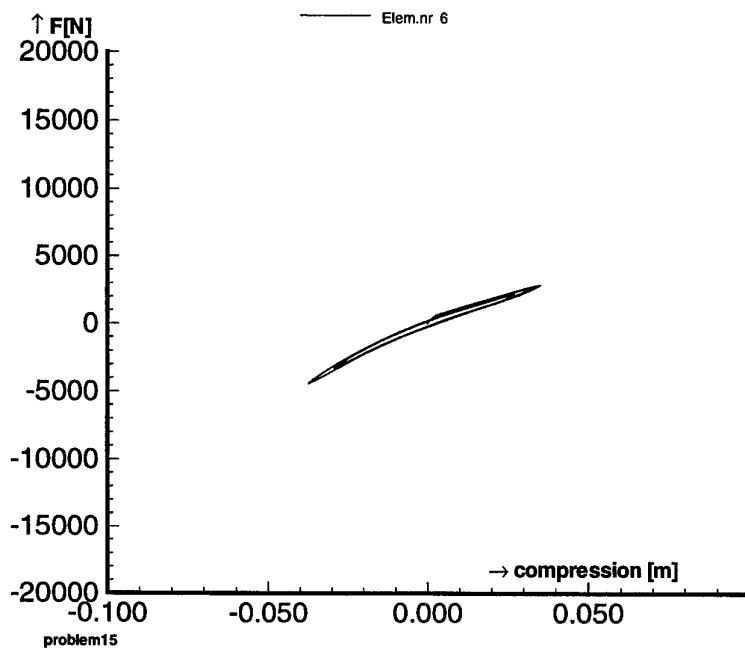
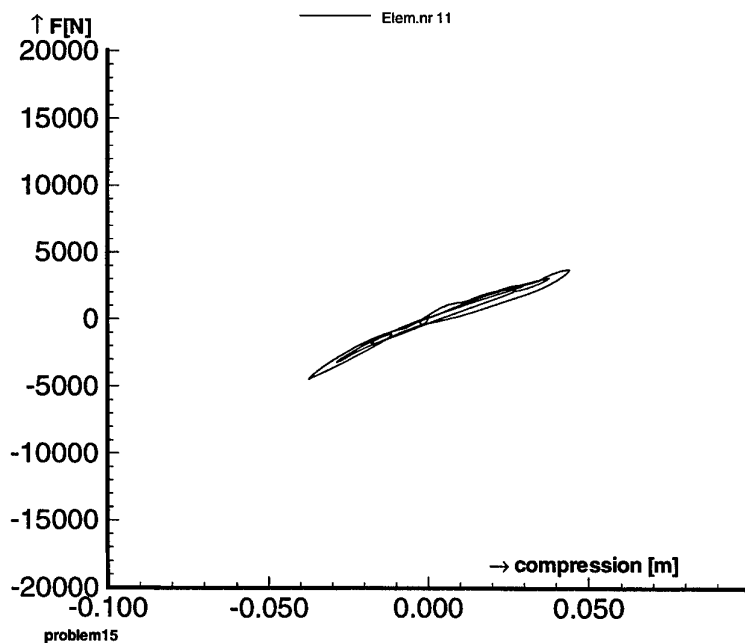


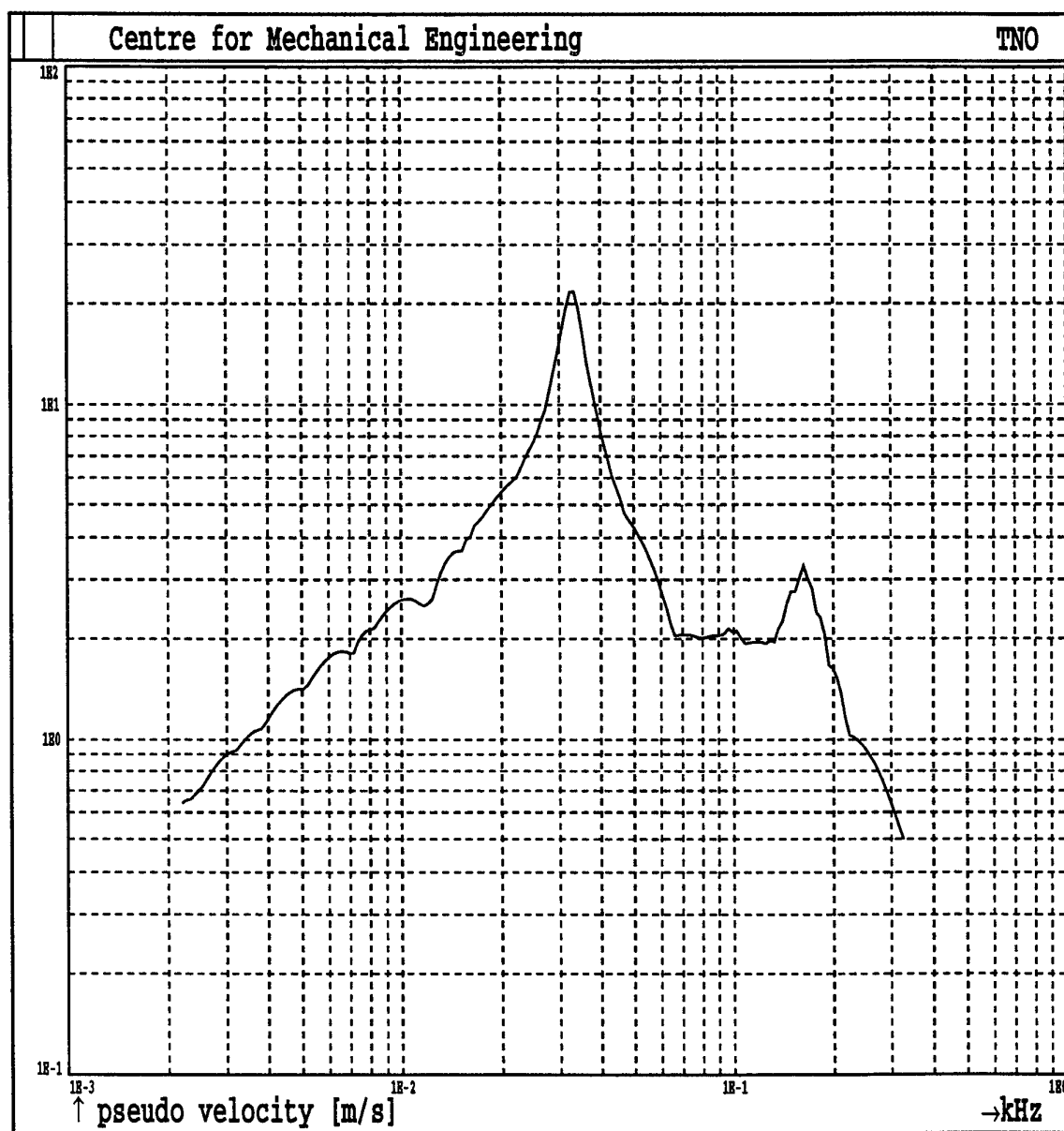
fig. A.15.17 Veerkarakteristiek som 15 element 4.



problem15
fig. A.15.18 Veer karakteristiek som 15 element 6.

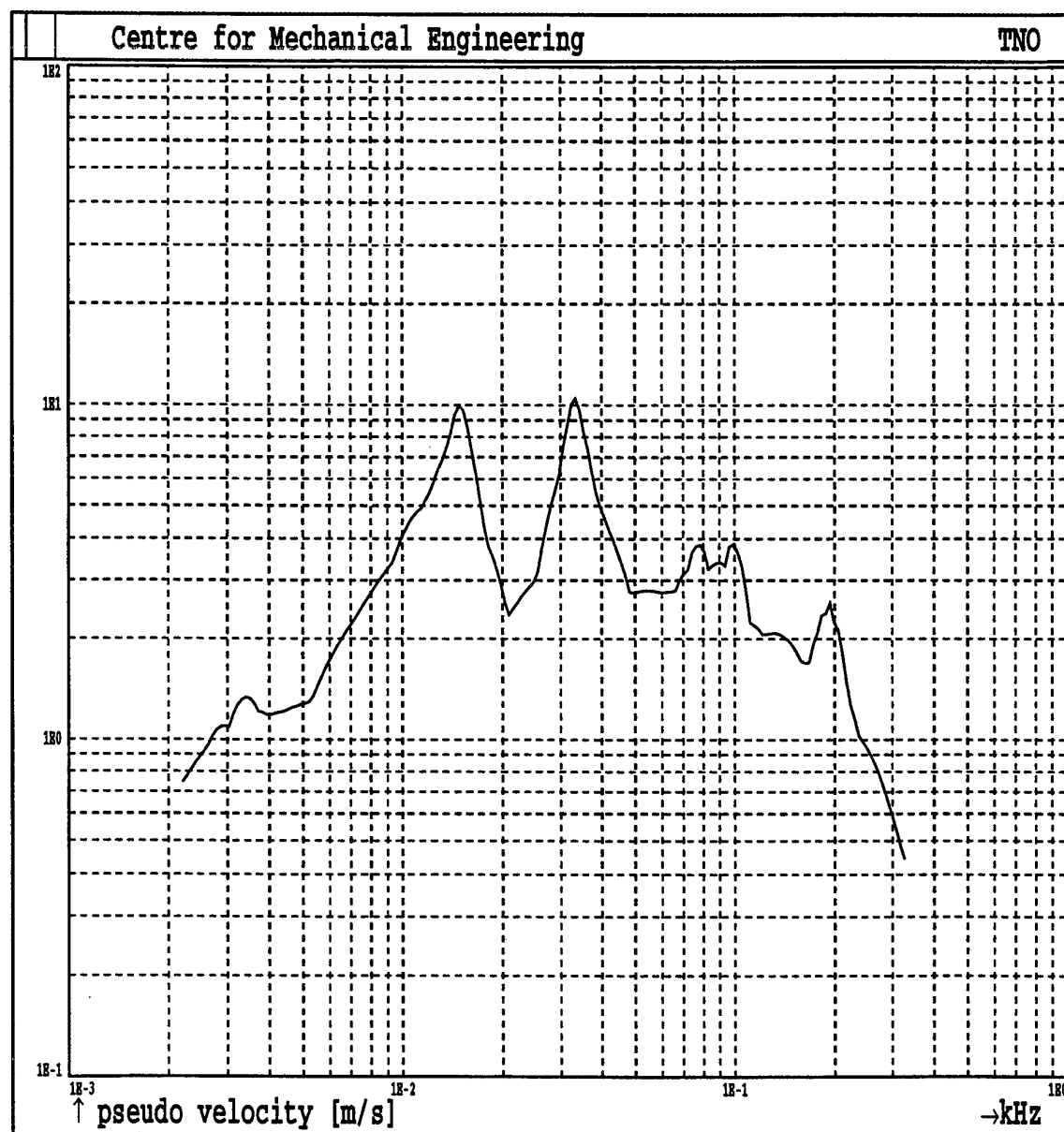


problem15
fig. A.15.19 Veer karakteristiek som 15 element 11.



Som 15; Dek; N.p. 6

fig. A.15.20 Initieel schokspectrum, som 15, dek, n.p. 6



Som 15; Dek; N.p. 26

fig. A.15.21 Initieel schokspectrum, som 15, dek, n.p. 26

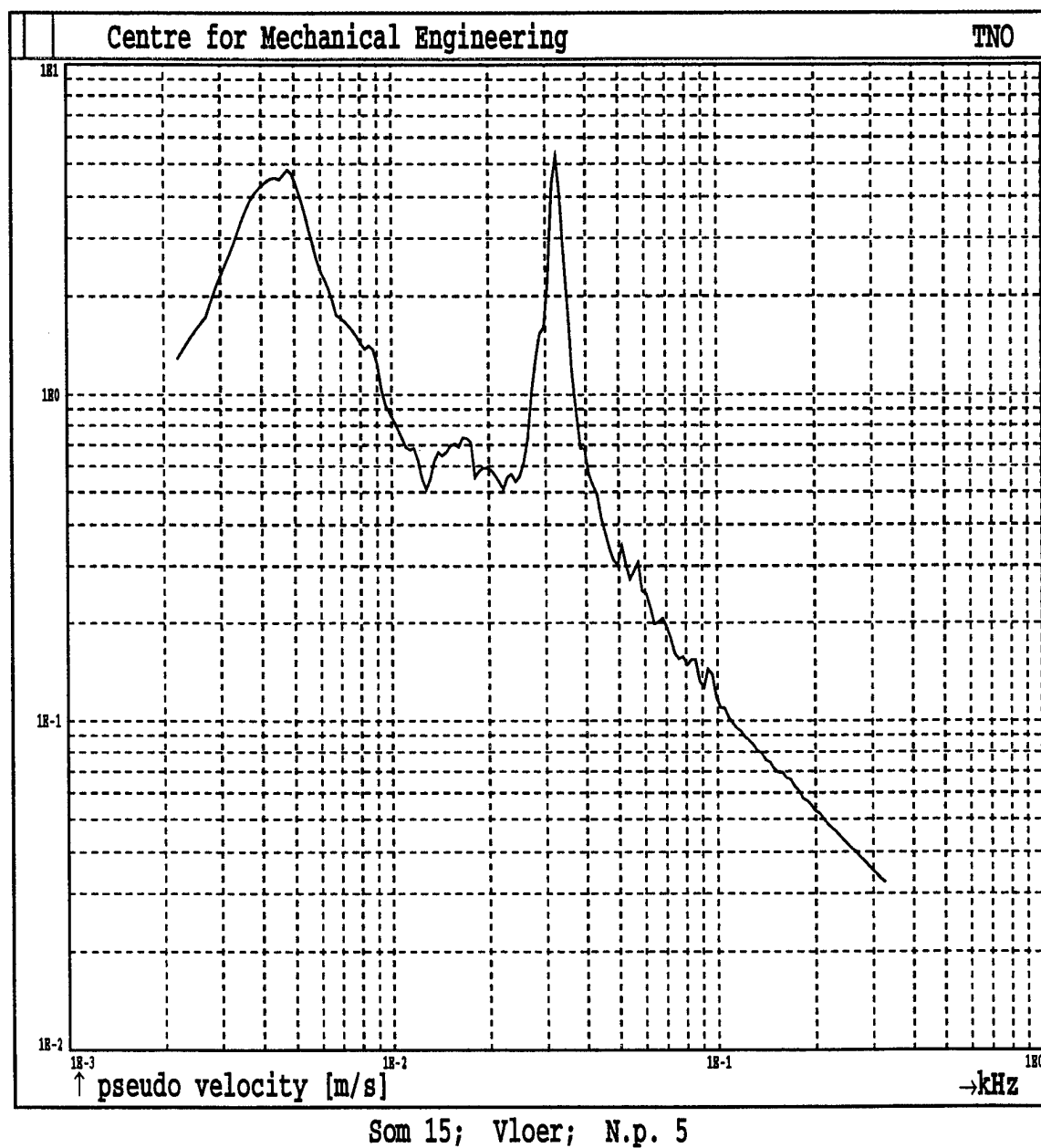
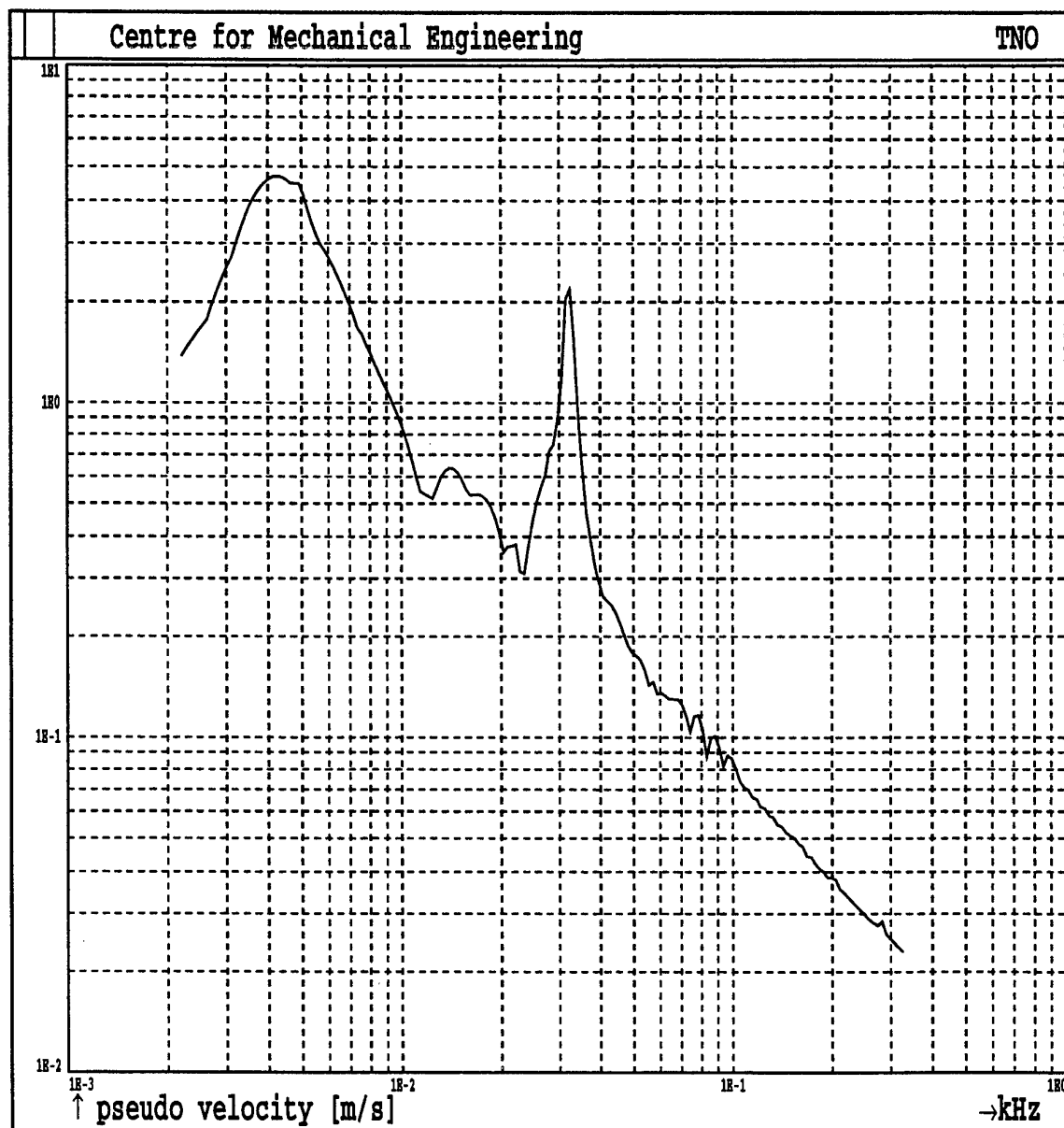
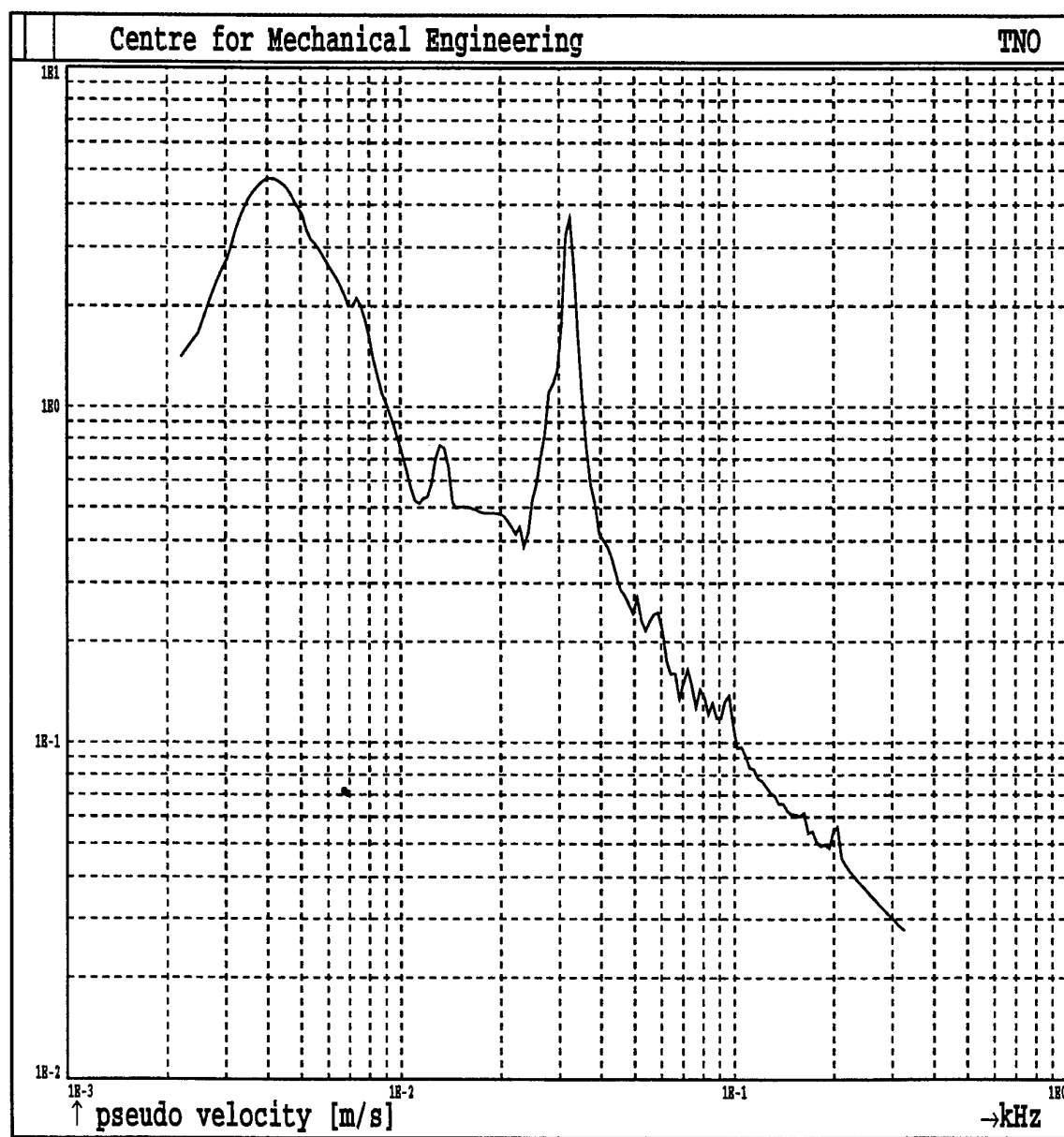


fig. A.15.22 Initieel schokspectrum, som 15, vloer, n.p. 5



Som 15; Vloer; N.p. 11

fig. A.15.23 Initieel schokspectrum, som 15, vloer, n.p. 11



Som 15; Vloer; N.p. 17

fig. A.15.24 Initieel schokspectrum, som 15, vloer, n.p. 17

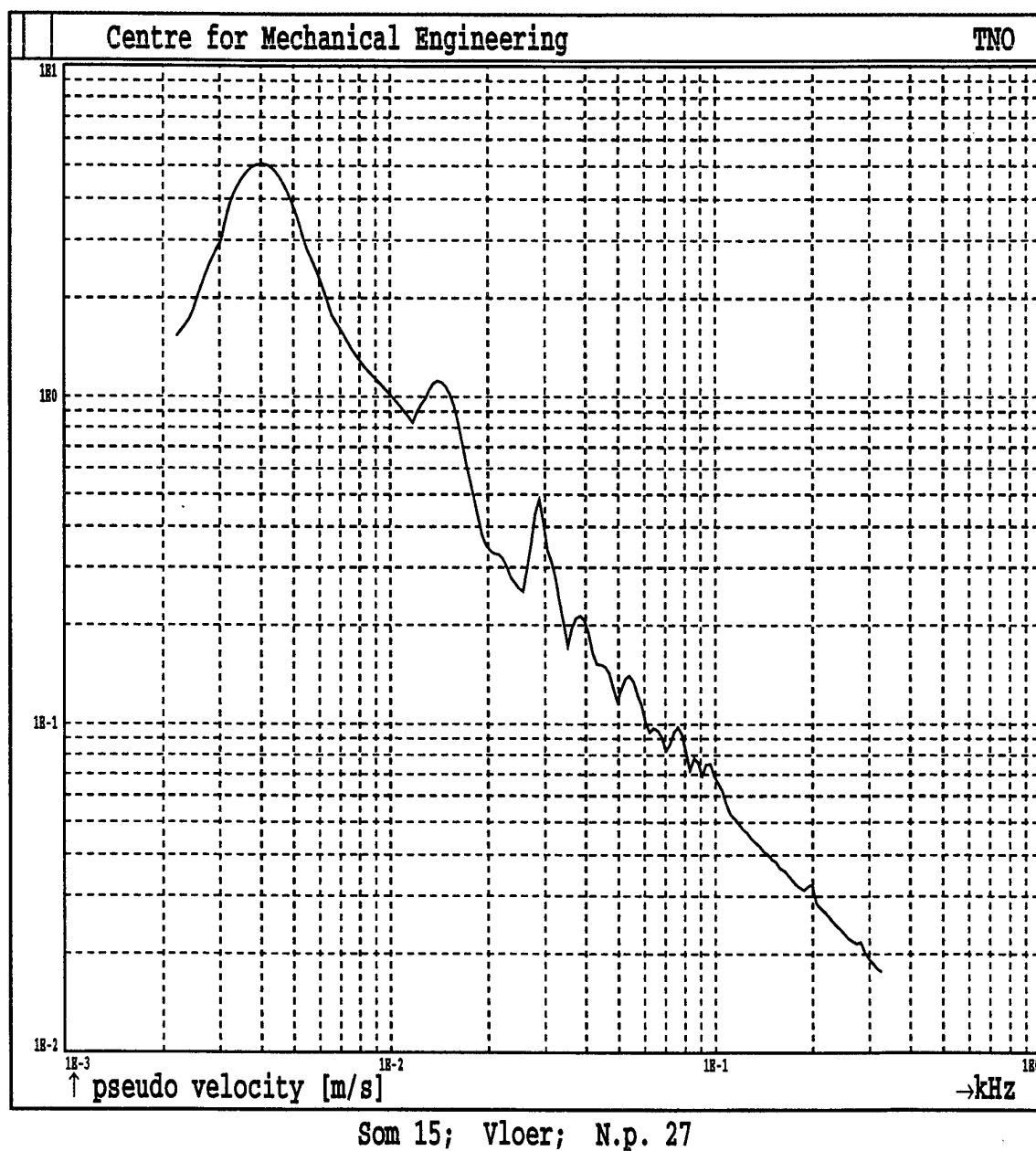
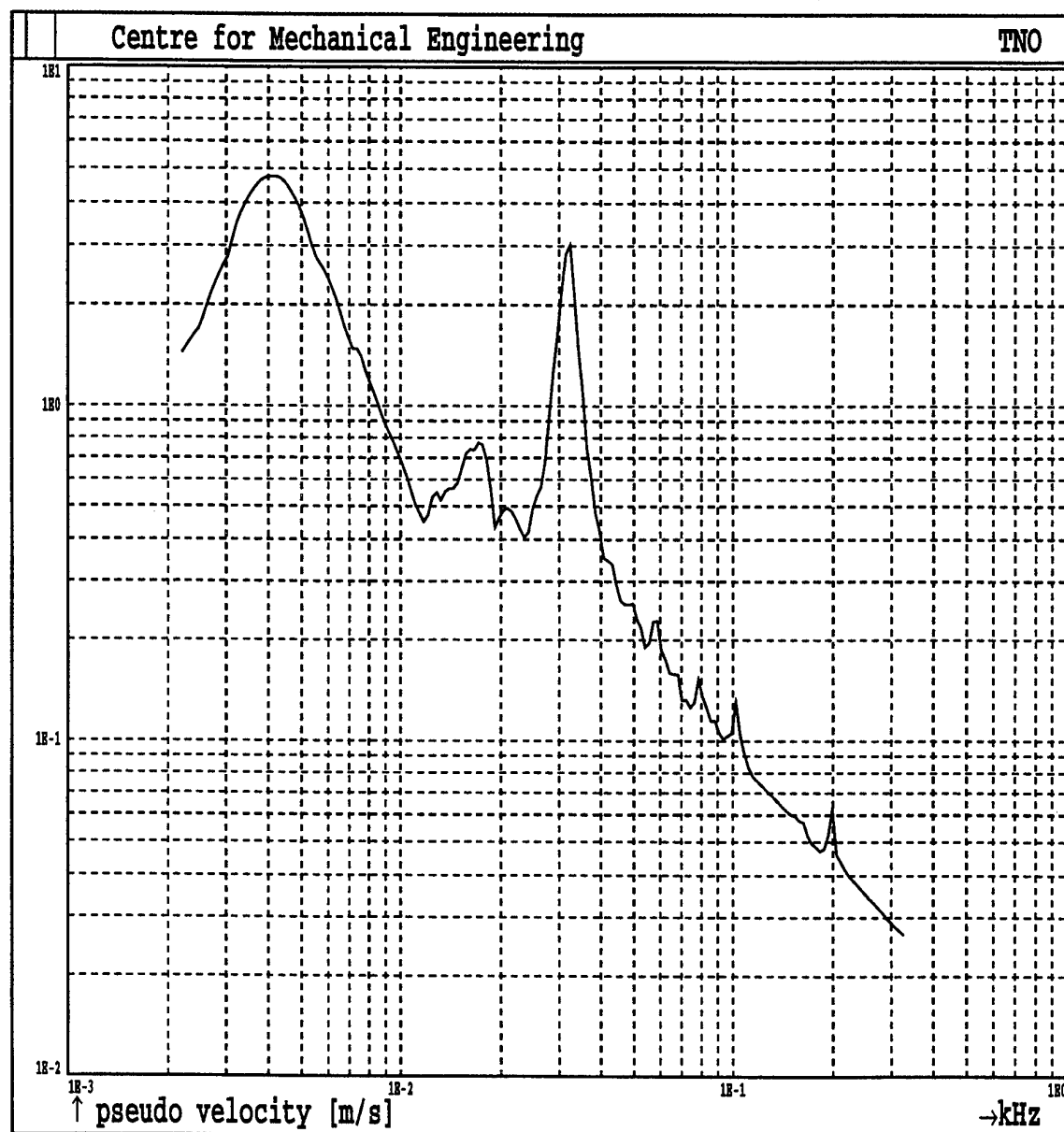
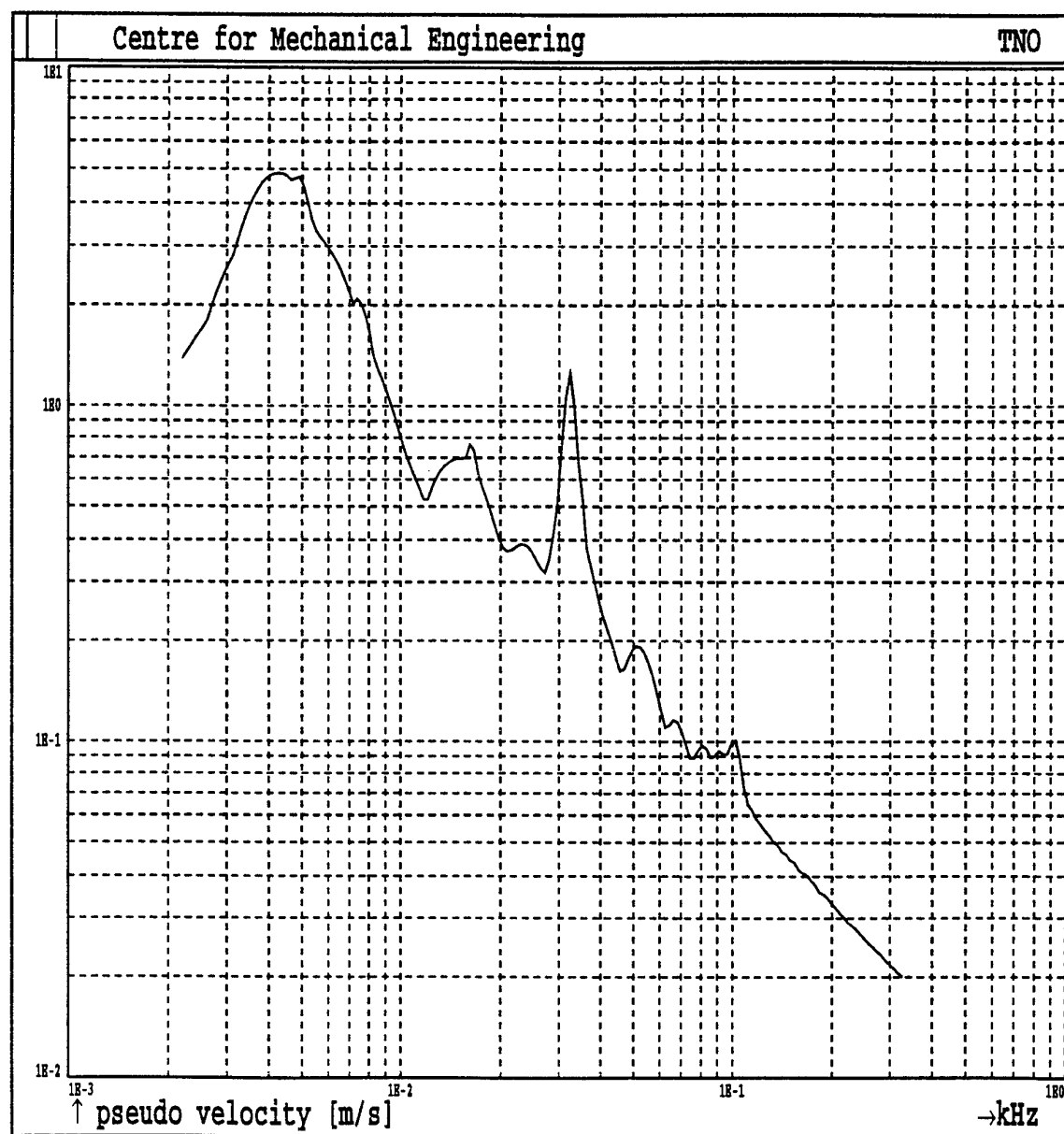


fig. A.15.25 Initieel schokspectrum, som 15, vloer, n.p. 27



Som 15; Vloer; N.p. 37

fig. A.15.26 Initieel schokspectrum, som 15, vloer, n.p. 37



Som 15; Vloer; N.p. 43

fig. A.15.27 Initieel schokspectrum, som 15, vloer, n.p. 43

Appendix B Damping van het dek

De modellering van damping is getest met een eenvoudig model met slechts het linker dekvelde met aan beide zijden de "kickoff puls" zoals die in **som 7** is gebruikt. Dit model wordt verder niet gerapporteerd. Vervolgens is als testprobleem, **som 15a** met alleen het volledige dek doorgerekend. De gegevens zijn verder identiek aan die van **som 7**. Slechts de vloer en de veren zijn weggelaten. De damping is gemodelleerd door tussen alle opvolgende knooppunten van het dek veren te plaatsen met als afschuifstijfheid in de verticale richting:
 $Force = K \times (\text{verschil in verticale snelheid van de aanliggende knooppunten})$
 met $K=6500 \text{ Ns/m}$.

In de volgende figuren worden versnelling, snelheid en verplaatsing van de middens van linker en middendekvelde getoond, samen met de voorgeschreven waarden. Die van het rechter veld zijn vanwege de symmetrie gelijk aan die van het linker veld.

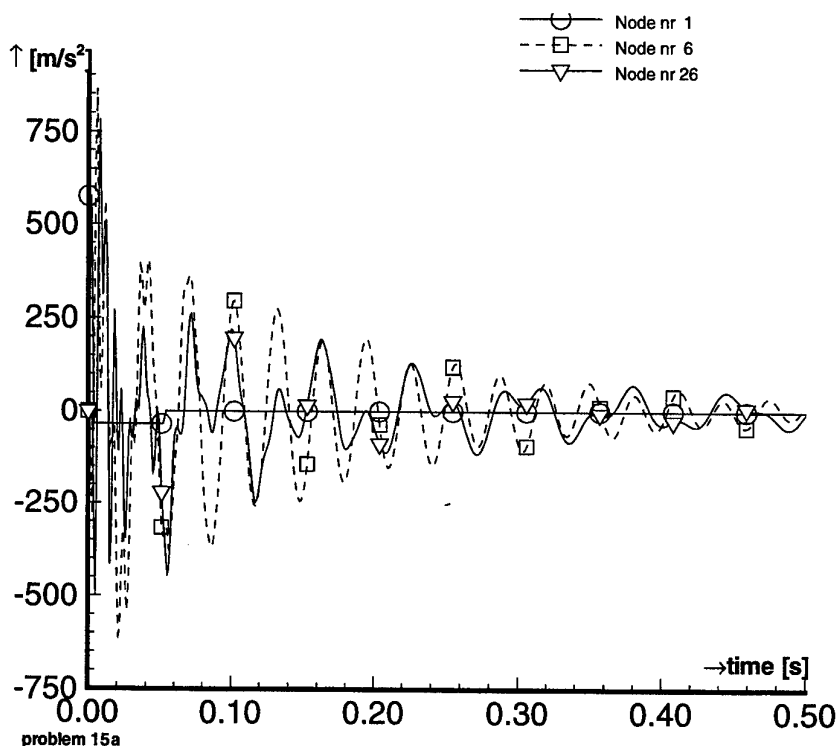


fig. B.1 Versnelling som 15a dek n.p. 6, 26 en n.p. 1 (voorgeschreven).

De versnelling van het linker veld (knooppunt 6) toont al snel een mooie gedempte sinusvorm met een frequentie van ca 33 Hz en een damping van 3% zoals is te zien in figuur B.1. Deze frequentie behoort bij een dektrilvorm met 6 knooppunten waarbij al de dekvelde in dezelfde richting bewegen. De versnelling van het middenveld toont een combinatie van trillingen, waarvan die met een frequentie van ca 33 Hz en van ca 14 Hz de belangrijkste zijn.

De snelheden in alle plaatvelde zijn complex doordat meerdere trilvormen aanwezig zijn, zie figuur B.2. Ook hier zijn de frequenties van 33 en 14 Hz weer het belangrijkste.

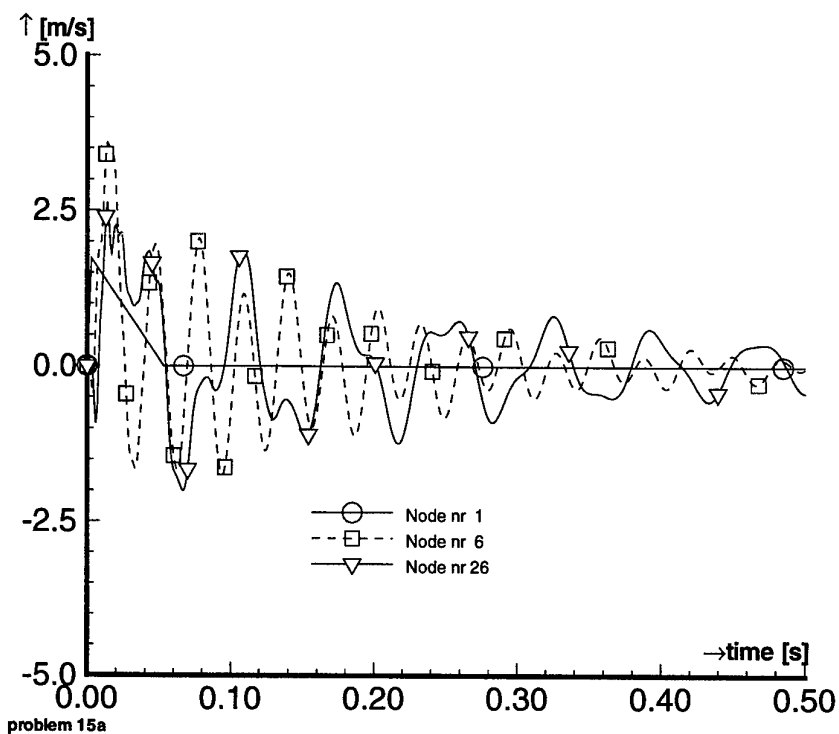


fig. B.2 Snelheid som 15a dek n.p. 6, 26 en 1 (voorgeschreven).

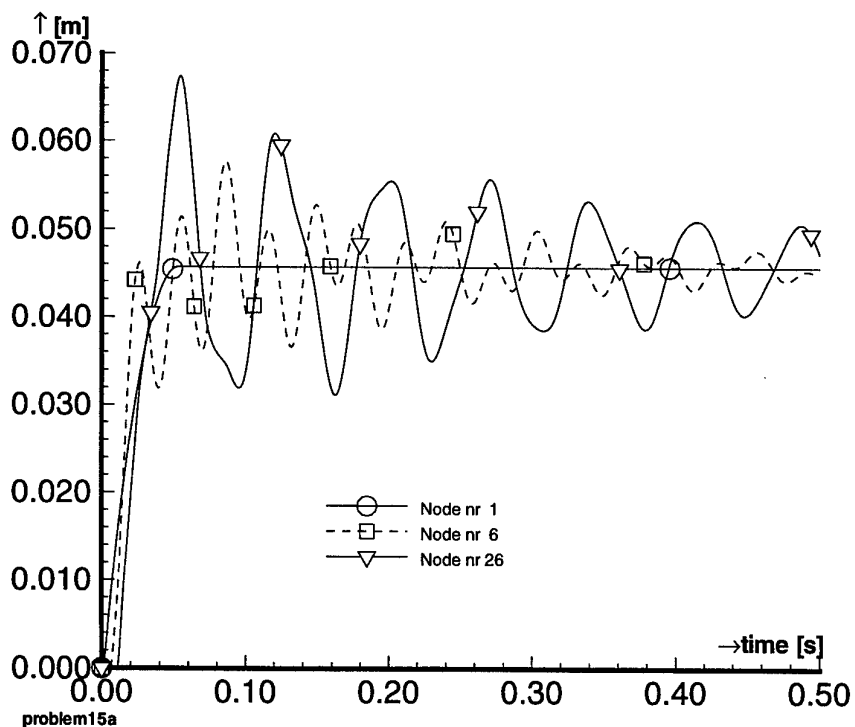


fig. B.3 Verplaatsing som 15a dek n.p. 6, 26 en n.p. 1 (voorgeschreven).

De verplaatsing van het linker veld toont duidelijk een combinatie van trilvormen, zie figuur B.3. De verplaatsing van het middenveld wordt overheerst door één trilvorm met een frequentie van ca 14 Hz. Deze frequentie behoort bij een dektrilvorm met 4 knooppunten (de aanstootpunten), waarbij het middendek de tegenovergestelde verplaatsing heeft van de zijvelden. Indien de invloed van de trilvorm met 33 Hz wordt verwaarloosd, volgt een demping voor de hoofdtrilvorm van 4%. Er kan opgemerkt worden dat in het begin van de beweging alle dekken in fase bewegen (de trilvorm met 33 Hz), terwijl zij later in tegenfase gaan bewegen (de trilvorm met 14 Hz).

Hier volgt een korte samenvatting van de theorie.
Voor een één-massa-veer systeem is de bewegingsvergelijking:

$$M \ddot{x} + C \dot{x} + K x = F$$

waarin

x: verplaatsing van de massa;
M: massa;
C: demping;
K: stijfheid van de veer;
F: uitwendige kracht.

Indien er plotseling een kracht op dit systeem wordt geplaatst dan volgt een verplaatsing:

$$x = \frac{F}{K} \left(1 - e^{\frac{-C t}{2M}} \cos(\omega_1 t) \right)$$

De gedempte sinusvorm heeft een cirkelfrequentie:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{K}{M} - \left(\frac{C}{2M}\right)^2}$$

Zonder demping blijft de amplitude gelijk en is de cirkelfrequentie:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{M}}$$

Voor een kritische waarde van de demping C_{crit} degenereert de oplossing tot een uitdempende e-macht ($\omega_1=0$):

$$C_{crit} = 2\sqrt{KM}$$

Het is gebruikelijk om de demping uit te drukken als een fractie β van deze kritische demping:

$$\beta = \frac{C}{C_{crit}} = \frac{C}{2M\omega_0} = \frac{C\omega_0}{2K}$$

Hiermee wordt de cirkelfrequentie ω_1 :

$$\omega_1 = \omega_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

Waaruit volgt dat ω_1 niet veel verandert.

De waarde van β kan ook worden afgeleid uit de verhouding van de amplitudes van opvolgende maxima (of minima) x_{i-1} en x_i in de verplaatsing (snelheid of versnelling):

$$\beta = \frac{-1}{2\pi} \ln\left(\frac{x_i}{x_{i-1}}\right)$$

Deze formule is gebruikt om de demping te berekenen uit de berekende verplaatsingen of versnellingen.

Voor een constructie gelden vergelijkbare formules maar de trilvormen zijn dan veel complexer en ook zijn er meer eigenfrequenties waarin de constructie kan trillen. Indien de eindige elementen methode wordt gebruikt om een constructie door te rekenen dan zijn M , C , en K matrices en x bestaat uit een vector van verplaatsingen van punten van de constructie en F bestaat uit een vector van uitwendige krachten.

Het is in dit geval niet eenvoudig om eigenfrequenties, trilvormen en demping te berekenen. Uitgaande van een sinusvormige verplaatsing van een dekvel met voornoemde dempingsveren met constante K en knooppuntsmassa M_0 volgt een benadering voor β :

$$\beta = \frac{\pi \bar{K}}{4 M_0 f_0 N^2}$$

waarin f_0 de eigenfrequentie van een plaatveld en M_0 de knooppuntsmassa (in ons geval 85 kg) en N het aantal elementen in het plaatveld.

Voor de zijvelden geldt $N=8$, $f_0=33$ Hz en de benaderde demping is .028.

Voor het middenveld geldt $N=12$, $f_0=14$ Hz en demping .03.

Deze waarden komen redelijk overeen met de dempingswaarden van 4 resp. 3 % die uit de computerberekeningen kwamen. De aangenomen sinusvormige verplaatsing past overigens het beste bij de trilvorm met de frequentie van 14 Hz.

Dezelfde dempingsveren zijn gebruikt in **som 15**.

ONGERUBRICEERD

REPORT DOCUMENTATION PAGE		
1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL) RP 96 - 0115	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER 96-CMC-R1445
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 62376438	5. CONTRACT NUMBER A95/KM/131	6. REPORT DATE 16 december 1996
7. NUMBER OF PAGES 63 (incl. appendices & excl. RDP + Distr. List)	8. NUMBER OF REFERENCES 8	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Interim Report
10. TITLE AND SUBTITLE Schokreductie d.m.v. zwevende vloeren; Invloed demping en samenvallende eigenfrequenties. Shock reduction by means of resiliently mounted floors; Influence of damping and coinciding eigen frequencies.		
11. AUTHOR(S) J. van den Eikhoff; R. Regoord		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) Centre for Mechanical Engineering Leeghwaterstraat 5 2628 CA DELFT, The Netherlands		
13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESSES(S) Sponsor: Netherlands Ministry of Defence Monitoring agency: TNO Defence Research, Schoemakerstraat 97, 2628 VK DELFT, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The Centre for Mechanical Engineering is part of TNO Building and Construction Research Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTES) The analysis concerns a simple 2D finite element model of a large resiliently mounted steel floor on a deck of a frigate subjected to the effects of UNDEX shock. For the prescribed motion at the deck edges, a kickoff pulse has been taken. The latter being obtained with the SWISS Code for an actual charge geometry. Cable wound shock mounts were installed. Shock response results were compared with those as obtained earlier for the same geometry. Stiffness of the middle deck was changed in order to study the effect of nearly coinciding eigen frequencies and the influence of damping was studied.		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> 16. DESCRIPTORS Underwater explosion Frigate Ship structure Shock response </div> <div style="width: 45%;"> IDENTIFIERS Shock analysis Finite element methods shock mounting </div> </div>		
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) ONGERUBRICEERD	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) ONGERUBRICEERD	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) ONGERUBRICEERD
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Unlimited availability, requests shall be referred to sponsor		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) ONGERUBRICEERD

ONGERUBRICEERD

DISTRBUTIELIJST RAPPORT 96-CMC-CMC-R1445

Instituut: TNO Bouw CMC

Project A95/KM/131

DWOO	1
HWO-Centrale Organisatie	(B)
HWO-KM	1
HWO-KL	(B)
HWO-KLu	(B)
Projectleider DMKM, ir J.A.A. Vaders	5
Archief Afdeling Scheepsbouw	1
Bureau TNO-DO	1
TNO-Centrum voor Mechanische Constructies	5
Bibliotheek KMA	3

(B) = Beperkt rapport